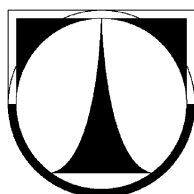


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra strojírenské technologie



Obor **230V 002** Strojírenská technologie

**VLIV TECHNOLOGIE POVRCHOVÝCH ÚPRAV NA ŽIVOTNOST  
STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL**

**INFLUENCE TECHNOLOGY OF SURFACE TREATMENTS  
MACHINE SEWING NEEDLES ON THEIR LIFETIME**

[Doktorská disertační práce]

Autorka: Ing. Jana Zouharová

Školitelka: Prof. Ing. Iva Nová, CSc.

Vedoucí katedry: Doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld

Liberec 2008

## **Anotace**

Práce se zabývá technologií povrchových úprav strojních šicích jehel a jejím vlivem na životnost. Tyto jehly jsou důležitým konstrukčním a funkčním prvkem šicích strojů. Především výrazným způsobem ovlivňují kvalitu šitého spoje u syntetických materiálů, které se také užívají k čalounění sedadel automobilů. Vlivem teploty, která vzniká v průběhu šití na šicích jehlách dochází k natavování syntetického šitého materiálu.

Rešeršní část je věnována charakteristice strojového šití a povrchovým úpravám strojních šicích jehel. Je zde také proveden rozbor namáhání jehly.

Přípravě experimentu využitého k formulaci závěrů předchází rešerše obecných teoretických poznatků o charakteristice šicího procesu a povrchových úprav strojních šicích jehel s ohledem na životnost jehly. Hlavní pozornost je věnována vlivu technologie povrchových úprav na kvalitu šicího procesu, včetně vlivu na namáhání jehly.

Pro vlastní experiment realizovaný v reálných výrobních a laboratorních podmínkách jsou použity jehly s povrchovými úpravami vytvořenými různými technologiemi - galvanicky (chróm), PVD metodou s broušením ouška mechanicky (nitrid titanu - TiN)), PVD metodou s broušením ouška chemicky (keramiky, resp. TiC)) a radikálovou polymerací (teflon). Tato část je zaměřena na zjišťování vlivu opotřebení strojních šicích jehel ve výrobním procesu na životnost povrchových úprav strojních šicích jehel vytvořených různými technologiemi.

***Klíčová slova:*** strojní šicí jehla, povrchové úpravy, životnost, šicí stroj



## **Annotation**

Thesis deals with the surface finish technology of the sewing machine needles and her influence on their lifetime. These needles are very important construction and function parts of the sewing machine. Especially they are strong the way influencing the quality of seam of the synthetic materials that they are use for car upholstery. Temperature influencing incipient during sewing process there is melting in the sewing machine needles by the synthetic materials.

**Search part of thesis** is intent on characteristic of the sewing process and surface finishes of the sewing machine needles. There is an analysis of a stress by the needle. Here is research of the general theoretical knowledge about characteristic by the sewing process and process by the surface finishes of the sewing machine needles with respect to needle lifetime. Main attention is dedicated to the technology influence of the surface finish on the quality by the sewing process inclusive of the influence on the needle stress.

**The experimental part of thesis** was realized in real process and laboratory conditions. There are used the sewing machine needles made different technology of the surface finishes. These technologies are a galvanic (chrome), a PVD method with needle eye polish by mechanically (titanium nitride - TiN)), a PVD method with needle eye polish by chemically (ceramics - TiC)) and a radical polymerization (teflon). This part is directed to determination of the abrasive wear influence of the sewing machine needles made by different technologies.

**Key words:** sewing machine needle, surface finishes, lifetime, sewing machine

## **Poděkování**

Ráda bych využila příležitosti a touto formou vyjádřila své poděkování zejména své školitelce Prof.Ing. Ivě Nové, CSc. Ráda bych jí poděkovala nejen za její odbornou pomoc při řešení problematiky, ale také za rady, které mi pomohly takto rozsáhlou oblast zpracovat.

Dále bych ráda poděkovala Doc. Ing. Karlu Daďourkovi, CSc., Ing. Stanislavě Krýslové, Ing. Martinovi Seidlovi, Ing. Zuzaně Seidlové, RNDr. Věře Vodičkové, Ph.D. a pracovníkům Katedry strojírenské technologie, kteří mi vždy ochotně pomohli jak při provádění experimentů, tak při odborných konzultacích během celého mého studia.

Liberec 7.7.2008

Jana Zouharová

---

## OBSAH

<b>SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>8</b>
 <b>1. ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
 <b>1.1 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU PROBLEMATIKY VLIVU POVRCHOVÝCH ÚPRAV STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL NA JEJICH ŽIVOTNOST .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 CÍL DOKTORSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 PŘEHLED PUBLIKACÍ K DANÉ PROBLEMATICE .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4 OSTATNÍ PUBLIKACE DOKTORANDA .....</b>	<b>16</b>
 <b>2. CHARAKTERISTIKA ŠICÍHO PROCESU INTERAKCE JEHLY A ŠICÍHO MATERIÁLU. ....</b>	<b>17</b>
 <b>2.1 ODĚR ŠICÍCH NITÍ PŘI TVORBĚ STEHU VLIVEM POVRCHOVÉ VRSTVY JEHLY.....</b>	<b>22</b>
2.1.1 TEORETICKÝ ROZBOR TŘENÍ NITÍ .....	22
<b>2.2 ROZBOR NAMÁHÁNÍ STROJOVÉ ŠICÍ JEHLY.....</b>	<b>28</b>
2.2.1 ZATÍŽENÍ OHYBEM .....	28
2.2.2 ZATÍŽENÍ JEHLY VZPĚREM.....	31
2.2.3 STATICKÉ NAMÁHÁNÍ .....	33
2.2.4 TEPELNÉ ZATÍŽENÍ .....	35
 <b>3. MATERIÁL, VÝROBA A TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL .....</b>	<b>40</b>
 <b>4. CHARAKTERISTIKA POVRCHOVÝCH ÚPRAV KOVOVÝCH SOUČÁSTÍ .....</b>	<b>47</b>
 <b>4.1 ADHEZNĚ KOHEZNÍ CHOVÁNÍ SYSTÉMŮ TENKÁ VRSTVA - SUBSTRÁT .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2 METODY VYTVÁŘENÍ POVRCHŮ A POVLAKŮ KOVŮ.....</b>	<b>59</b>
4.2.1 KOVOVÉ POVLAKY .....	60

4.2.2	CHEMICKÉ A GALVANICKÉ POKOVOVÁNÍ KOVŮ .....	60
4.2.3	CHEMICKÁ DEPOZICE Z PLYNNÉ FÁZE (CVD = CHEMICAL VAPOUR DEPOSITION) ..	63
4.2.4	FYZIKÁLNÍ DEPOZICE Z PLYNNÉ FÁZE (PVD = PHYSICAL VAPOUR DEPOSITION) ..	64
4.2.5	NEKOVOVÉ POVLAKY .....	64
<b>5.</b>	<b>METODY HODNOCENÍ POVRCHOVÝCH ÚPRAV .....</b>	<b>66</b>
<b>5.1</b>	<b>VZHLEDOVÉ VLASTNOSTI .....</b>	<b>66</b>
5.1.1	FUNKČNÍ VLASTNOSTI .....	66
<b>5.2</b>	<b>OCHRANNÉ VLASTNOSTI .....</b>	<b>68</b>
<b>6.</b>	<b>POVRCHOVÉ ÚPRAVY STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL .....</b>	<b>79</b>
6.1.1	LEŠTĚNÍ .....	79
6.1.2	CHROMOVÁNÍ .....	79
6.1.3	POVRCH JEHLY OPATŘEN POVLAKEM NITRIDU TITANU (TiN) .....	80
6.1.4	POVRCH JEHLY OPATŘEN POVLAKEM TEFLONU .....	81
6.1.5	POVRCH JEHLY OPATŘEN KERAMICKÝM POVLAKEM .....	82
6.1.6	POVRCH JEHLY OPATŘEN DIAMANTOVÝM (DLC) POVLAKEM .....	82
<b>7.</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠŤOVÁNÍ VLIVU POVRCHOVÝCH ÚPRAV JEHLY NA JEJÍ ŽIVOTNOST .....</b>	<b>83</b>
<b>7.1</b>	<b>PŘEHLED PROVÁDĚNÝCH EXPERIMENTŮ .....</b>	<b>83</b>
7.1.1	PRVNÍ ETAPA SLEDOVANÝCH EXPERIMENTŮ .....	83
7.1.2	DRUHÁ ETAPA SLEDOVANÝCH EXPERIMENTŮ .....	87
<b>7.2</b>	<b>SLEDOVÁNÍ VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL .....</b>	<b>89</b>
7.2.1	METALOGRAFICKÉ HODNOCENÍ STRUKTURY ŠICÍ JEHLY .....	89
7.2.2	TLOUŠŤKA POVLAKU .....	90
7.2.3	MĚŘENÍ PEVNOSTI STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL VE VZPĚRU .....	92
7.2.4	POVRCHOVÁ TVRDOST STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL S RŮZNOU POVRCHOVOU ÚPRAVOU .....	94
7.2.5	STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ SÍLY V PRŮPICHU .....	98
7.2.6	STANOVENÍ DRSNOSTI POVRCHOVÉ VRSTVY JEHLY .....	107

---

<b>7.3</b>	<b>HODNOCENÍ POVRCHOVÝCH ÚPRAV STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL NA ELEKTRONOVÉM MIKROSKOPU.....</b>	<b>127</b>
<b>7.4</b>	<b>HODNOCENÍ VLIVU POVRCHOVÉ ÚPRAVY JEHLY NA ZMĚNU MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ ŠICÍCH NITÍ.....</b>	<b>136</b>
7.4.1	HODNOCENÍ VLIVU POVRCHOVÉ ÚPRAVY JEHLY NA ŠICÍ SCHOPNOST ŠICÍCH NITÍ 136	
7.4.2	VLIV POVRCHOVÉ ÚPRAVY JEHLY NA ZMĚNU PEVNOSTI ŠICÍCH NITÍ VE SMYČCE	147
7.4.3	CELKOVÉ HODNOCENÍ VLIVU POVRCHOVÉ ÚPRAVY STROJNÍ ŠICÍ JEHLY NA ZMĚNU MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ ŠICÍCH NITÍ .....	160
<b>8.</b>	<b>DISKUSE VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>166</b>
<b>9.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>176</b>
<b>10.</b>	<b>SEZNAM LITERATURY.....</b>	<b>180</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>182</b>

---

**Seznam zkratek a symbolů**

$A_{c1}$	- teplota eutektoidní přeměny
$A_{cm}$	- teplota přeměny cementitu
$d$	- průměr těla jehly [mm]
$d^2$	- druhá mocnina střední úhlopříčky vtisku podle Vickerse
$d_1$	- velikost úhlopříčky vtisku podle Vickerse [ $\mu\text{m}$ ]
$d_2$	- velikost úhlopříčky vtisku podle Vickerse [ $\mu\text{m}$ ]
$E$	- Youngův modul pružnosti materiálu [MPa]
$f$	- součinitel tření
$F$	- síla [N]
$F$	- tahová síla v niti na chapačové straně [N]
$Fe_\alpha$	- železo modifikace alfa
$F_{KR}$	- kritická síla jehly [N]
$F_P$	- přitlačná síla patky [N]
$F_{T1}$	- třecí složka síly mezi jehlou a nití působící v horní části ouška jehly na návlekové straně [N]
$F_{T2}$	- třecí složka síly mezi jehlou a nití působící v dolní části ouška jehly na chapačové straně [N]
$F_{T3}$	- třecí složka síly mezi jehlou a nití působící v přímé drážce u ouška jehly na chapačové straně [N]
$F_{TA}$	- třecí složka síly mezi hrotem chapače a nití působící v místě styku nitě s hrotem chapače [N]
$F_{TB}$	- třecí složka síly mezi hrotem chapače a nití působící v místě styku nitě s hrotem chapače [N]
$F_{TC}$	- třecí složka síly mezi hrotem chapače a nití působící v místě styku nitě s hrotem chapače [N]
$F_{TN}$	- třecí složka síly mezi nití a nití [N]
$F_{TO}$	- třecí složka síly mezi ouškem jehly a nití působící v místě styku nitě s dolní částí ouška jehly [N]
$F_{TO1}$	- třecí složka síly mezi jehlou a nití působící v horní části ouška [N]
$HV$	- tvrdost podle Vickerse
$HV\ 0,01$	- mikrotvrdost podle Vickerse při zatížení 0,01kp
$HV\ 0,05$	- mikrotvrdost podle Vickerse při zatížení 0,05kP

---

$J_{\min}$	- moment setrvačnosti průřezu šicí jehly [ $\text{mm}^4$ ]
$L$	- délka stvolu jehly [mm]
$M_f$	- teplota martenzit finish
$M_s$	- teplota martenzit start
$M(x)$	- ohybový moment silové dvojice [N.m]
$N$	- normálová síla [N]
$n$	- počet měření
$N_1$	- normálová složka síly jehly působící na nit v horní části ouška jehly na návlekové straně [N]
$N_2$	- normálová složka síly jehly působící na nit v dolní části ouška jehly na chapačové straně [N]
$N_3$	- normálová složka síly jehly působící na nit v přímé drážce u ouška jehly na chapačové straně [N]
$N_A$	- normálová složka síly hrotu chapače působící na nit v místě styku nitě s hrotem chapače [N]
$N_B$	- normálová složka síly hrotu chapače působící na nit v místě styku nitě s hrotem chapače [N]
$N_C$	- normálová složka síly hrotu chapače působící na nit v místě styku nitě s hrotem chapače [N]
$N_J$	- normálová složka síly jehly [N]
$N_M$	- normálová složka síly šitého materiálu působící na nit v místě styku nitě se šitým materiálem [N]
$N_{M1}$	- normálová složka síly šitého materiálu působící na nit v místě styku nitě se šitým materiálem na návlekové straně [N]
$N_{MP}$	- normálová složka šitého materiálu působící proti přítláčné síle patky [N]
$N_P$	- normálová složka síly patky působící na nit [N]
$N_O$	- normálová složka síly v oušku jehly působící na nit v dolní části ouška jehly [N]
$N_{O1}$	- výslednice sil tlaků působících na nit v horní části ouška jehly [N]
$N_S$	- normálová složka síly stehové desky působící na nit v místě styku nitě s otvorem ve stehové desce [N]
$NM$	- číslo metrické ( $100 \text{ NM} = 1 \text{ mm}$ tloušťky jehly)
$P$	- vnitřní napětí šitého materiálu [Pa]
$P$	- tahová síla v niti [N]

---

---

PA	- polyamid
PL	- polyester
PU	- polyuretan
CO	- bavlna
Q	- síla průpichu [N]
$s^2$	- rozptyl
s	- směrodatná odchylka
v	- variační koeficient
SUK	- označení hrotu jehly
T	- třecí síla [N]
T(x)	- posouvající síla [N]
$T_1$	- třecí síla mezi jehlou a nití působící v dlouhé drážce [N]
$T'_1$	- třecí síla mezi nití a šitým materiálem působící na návlekové straně [N]
$T_2$	- třecí složka síly mezi jehlou a nití působící na chapačové straně [N]
TiN	- nitrid titanu
TiC	- karbid titanu
(TM)	- třecí síla mezi šitým materiálem a nití [N]
v	- variační koeficient [% , 1]
$v_j$	- rychlost jehly [m/s]
$v_{jd}$	- rychlost jehly vůči dílu [m/s]
$v_{nd}$	- rychlost nitě vůči dílu [m/s]
$v_{nj}$	- rychlost nitě vůči jehle [m/s]
$^1v_{nd}$	- rychlost nitě vůči dílu na návlekové straně [m/s]
$^2v_{nd}$	- rychlost nitě vůči dílu na chapačové straně [m/s]
$x_i$	- i-tá hodnota měření
$\bar{X}$	- průměrná hodnota
$\alpha$	- úhel [°]
$\epsilon$ -karbid	- přechodový karbid ( $Fe_{2,4}C$ )
$\varphi$	- úhel [°]
$\mu$	- koeficient redukované délky jehly [1]
tzn.	- to znamená

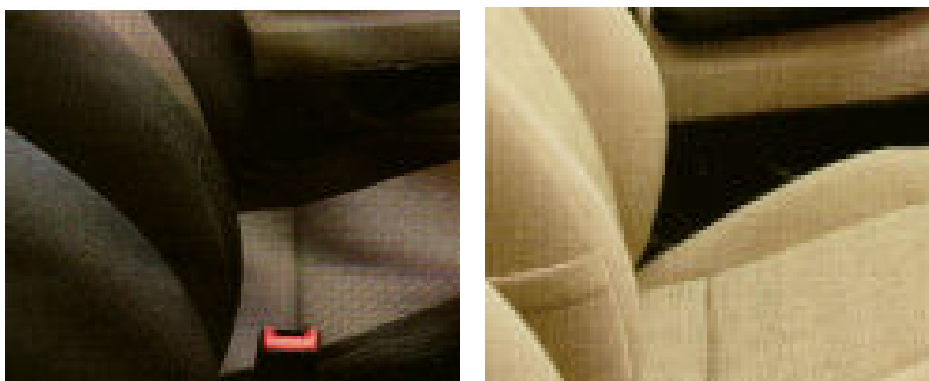
---



## 1. ÚVOD

V textilním průmyslu byl v posledních letech na celém světě zaznamenán velký rozmach využívání výsledků vědy a techniky v praxi. Efektivní využívání těchto výsledků vyžaduje zejména rychlou, srozumitelnou a koncentrovanou informovanost, která má vliv na úspěšné zavádění nejnovějších objevů do průmyslové praxe. Prudký rozvoj průmyslové výroby a potřeba vývoje stále nových výrobků a materiálů s lepšími parametry, přináší s sebou stále více technických a ekonomických problémů, které je nutno, v zájmu zabezpečení předpokládaných cílů, pečlivě analyzovat a komplexně řešit.

V současné době je věnována velká pozornost vývoji speciálních strojových šicích jehel pro šití potahů automobilových nebo autobusových sedáků. Kvalitní zhotovení těchto sedáků včetně volby vhodného potahového materiálu (textilie, kůže viz obr. 1 a 2) a kvalitního provedení šitých spojů přispívá k celkovému designu interiéru automobilů a autobusů.



Obr. 1-1 Automobilové sedáky a vnitřní vybavení automobilu zhotovené z textilie



Obr. 1-2 Automobilové sedáky a vnitřní vybavení automobilu zhotovené z kůže

Proces spojování textilií šitím se staletí vyvíjel od ruční práce přes jednoduché stroje až na současnou úroveň vysoce výkonné šicí techniky.

První pokusy nahradit ruční šití strojovým představoval vývoj šicích strojů a s ním i vývoj strojních šicích jehel. První, kdo se pokoušel nahradit ruční šití strojovým a přispěl svým vynálezem ke vzniku jehly byl roku 1755 Charles Weisenthal. Jednalo se o strojní šicí jehlu s ouškem uprostřed a hroty na obou koncích. Tuto jehlu použili na šicích strojích Madersperger a Greenough. Takto upravené a zmodernizované jehly se používají i v dnešní době u šicích strojů napodobujících ruční steh.

Vynález jehly s ouškem u hrotu jehly se datuje k roku 1800, kdy Balthasar Krems tuto jehlu použil u svého řetízkového stroje. Tato jehla byla kruhového průřezu a neměla drážky. Umožňovala vytvořit smyčku z jehelní nitě na rubové straně šitím bez přerušení dodávky jehelní nitě, narozdíl od ručního šití, kdy je celá zásoba jehelní nitě protáhnuta propíchnutým otvorem v díle. Strojní šicí jehlu s ouškem u hrotu jehly a další dosud známé elementy použil u prvního provozuschopného šicího stroje se stehem dvounitným vázaným v letech 1842 - 1845 Elias Howe. V roce 1852 zkonstruoval A.B. Wilson první šicí stroj s rotačním jednootáčkovým chapačem, který pracoval s obloukovou šicí jehlou s ouškem u hrotu. Howeovy konstrukce šicího stroje zdokonalil Isaac Merrit Singer, který se jako první začal zabývat sériovou výrobou šicích strojů a strojních šicích jehel. Do této doby byly jehly vyráběny náročným ručním způsobem a byly velmi drahé. I. M. Singer zavedl první výrobu jehel na výrobních linkách, které byly postupem času automatizovány.

Výrobou strojních šicích jehel se v současné době zabývá řada firem. Mezi hlavní výrobce patří SINGER, UNION SPECIAL, SCHMETZ a u nás jediná firma GRÖZ-BECKERT.

Předchůdcem této firmy byla IGLA v Českých Budějovicích, která se od roku 1947 zaměřila na produkci jehel především pro ruční šití. V roce 1950 byly přičleněny závody v Lužicích a Valašských Kloboukách. Původní sortiment ručních šicích jehel, obuvnických jehel a špendlíků se výrazně rozšířil o pletací jehly, platiny do textilních strojů, strojní šicí jehly pro domácnost a průmysl, rybářské háčky, chirurgické jehly a jehlové válečky. V roce 1990 se podnik transformoval na akciovou společnost AKRA. Roku 1992 byla firma zprivatizována prodejem společnosti GRÖZ-BECKERT. Tato firma vznikla v roce 1852. AKRA je dnes firmou, která se vyznačuje výrobkovou specializací, vysokou produktivitou, zárukou nejvyšší kvality, zaručenou certifikací systému jakosti podle ISO 9001 pro jehly do průmyslových šicích strojů všech značek,

pružnou inovací, vysokým podílem exportu, který dosahuje až 90% a důslednou péčí o ekologii. V roce 1999 se AKRA stala AKRA s.r.o. s jediným společníkem, kterým je GRÖZ-BECKERT, [7].

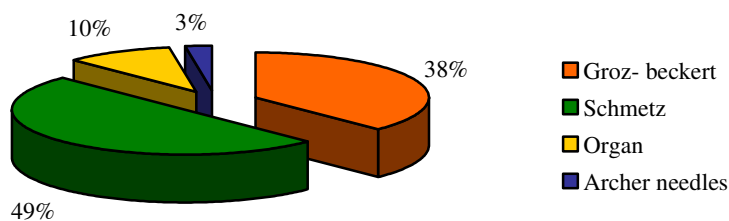
## **1.1 Přehled o současném stavu problematiky vlivu povrchových úprav strojních šicích jehel na jejich životnost**

Problematikou a výzkumem šicích jehel se také zabývala Katedra oděvnictví a Katedra textilních strojů naší univerzity. V roce 1973 byla řešena kandidátská disertační práce Prof. Ing. Vladimíra Motejla, CSc. - Průzkum příčin zvyšování teploty strojové šicí jehly při šití textilií [17] (Prof. Ing. Vladimír Motejl byl v 80. letech vedoucím Katedry oděvnictví na VŠST Liberec) a v roce 1997 se ve své disertační doktorské práci zabýval Ngô Chí Trung [20] problematikou ohřevu strojové šicí jehly v šicím procesu.

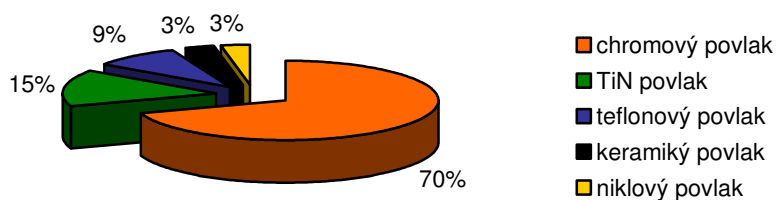
V této souvislosti byla pod mým vedením řešena celá řada diplomových prací. Např. diplomová práce Sýkorové [30], která řešila vliv povrchových úprav strojových jehel pro syntetické materiály. Na studium vlivu úprav strojových šicích jehel na šití syntetických materiálů je zaměřena diplomová práce Holkové [10]. Studium deformace jehly šicího stroje při užití metody konečných prvků se zabývala ve své diplomové práci Krejčířiková [15]. Též problematikou šicí jehly se zabývá i diplomová práce Pavlíčkové [21], Brodské [1], Pauliová [22] a Nasirova [19].

V současné době se výzkum zaměřuje na prodloužení životnosti strojních šicích jehel vzhledem k spojovacímu procesu. Byly proto vyvinuty nové typy strojních šicích jehel včetně povrchových úprav těchto jehel např. povlak TiN, keramický povlak a také nové typy šicích nití např. jádrové šicí nitě. Podle průzkumu bylo zjištěno, že v ČR (viz obr.1-3 až 1-5) se nejčastěji používají jehly firmy Gröz - Beckert a Schmetz s povrchovými úpravami chrómu a nitridu - titanu (TiN) a šicí nitě firmy Amann Sponit Trading s.r.o.

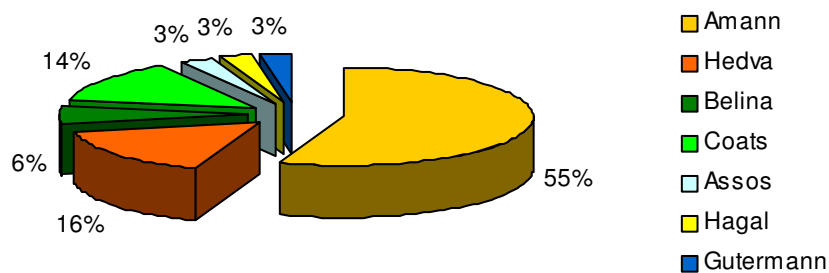
Při prostudování dostupné literatury, která se týká vlivu strojních šicích jehel na kvalitu spojovacího procesu, se ukazuje, že neexistuje komplexní rozbor vztahu technologie vytváření povrchové vrstvy jehly a kvalitě vytvořeného spoje tzv. životnost jehly.



Obr. 1-3 Nejpoužívanější jehly v ČR



Obr. 1-4 Nejpoužívanější povrchové úpravy strojních šicích jehel v ČR



Obr. 1-5 Nejpoužívanější šicí nitě v ČR

## 1.2 Cíl doktorské práce

Hlavním cílem disertační práce je výzkum vlivu technologie vytvoření povrchové vrstvy jehly na její životnost.

---

K řešení tohoto hlavního cíle bylo nutno řešit tyto dílčí úlohy:

1. Charakteristika šicího procesu interakce jehly a šitého materiálu.
2. Rozbor namáhání strojové šicí jehly v průběhu šicího procesu.
3. Charakteristika povrchových úprav strojních šicích jehel s ohledem na životnost jehly.
4. Vytvoření metodiky pro posuzování mechanických vlastností jehly v průběhu šicího procesu.
5. Shrnutí dosažené teoretické poznatky i experimentální a výpočtové výsledky. Současně formulovat dílčí závěry pro technologické uplatnění v technické praxi.

### 1.3 Přehled publikací k dané problematice

1. Kůs, Z. - Zouharová, J. Application of 2D FFT for seam pucker detection. In : 3rd International Conference Texsci 8, Liberec , Czech Republic, May 25-27,1998
2. Zouharová, J. Výroba oděvů-technologie spojování. Liberec, TUL, 2003. ISBN 80-7083-674-1
3. Zouharová, J. Výroba oděvů.Díl 1. Liberec, TUL, 2004 ISBN 80-7083-781-0
4. Zouharová, J. Výroba oděvů.Díl II. Liberec, TUL, 2004 ISBN 80-7083-782-9
5. Zouharová,J. Vliv povrchových úprav strojních šicích jehel na jejich životnost. Strojírenská technologie. Vol.10, 12/2005, s. 187-190. ISSN 1211-4162
6. Zouharová,J. Vliv povrchových úprav strojních šicích jehel na jejich životnost. Sborník příspěvků. 1. Mezinárodní vědecká konference - Nové poznatky v technologiích a technologické informace '05. Ústí nad Labem, ISBN 80-7044-743-5
7. Slaninová,M.,Zouharová,J. Vliv povrchových úprav strojních šicích jehel na jejich životnost.Sborník příspěvků. 9. Mezinárodní konference STRUTEX, TU Liberec 2002, ISBN 80-7083-668-7
8. Zouharová,J. Vliv povrchových úprav strojních šicích jehel na šicí schopnost šicí nitě z přírodních a syntetických materiálů. Sborník příspěvků.1.Mezinárodní vědecká konference – Funkčné povrchy 2006. Trenčín, ISBN 80-8075-137-4
9. Zouharová,J.The influence of the surface finishes the sewing machine needles to the cut-off power dimension. Sborník příspěvků. 3.Mezinárodní Baťova doktorská konference.Zlín, ISBN 978-80-7318-529-9

- 
10. Zouharová, J. Influence of surface treatments machine sewing needles on quality of the stitches. Sborník příspěvků. 16. mezinárodní konference metalurgie a materiálů. Metal 2007. Hradec nad Moravicí, ISBN 978-80-86840-33-8
  11. Zouharová, J. Konstrukce a povrchové úpravy strojních šicích jehel. MM Průmyslové spektrum (časopis č. 6/2007), s.62. ISSN 1212-2572
  12. Zouharová, J. Vliv spojovacího procesu na životnost povrchových úprav strojních šicích jehel. Sborník příspěvků. Mezinárodní vědecká konference – Funkčné povrchy 2007. Trenčín,
  13. Zouharová, J. The influence of the surface finishes of the sewing machine needles on change of strength of the sewing thread in loop after formation of stitch. Sborník příspěvků. 14. mezinárodní konference. STRUTEX 2007. Liberec, ISBN 978-80-7372-271-5
  14. Zouharová, J. The influence of the surface finishes of the sewing machine needles in their needle-eye on the sewing material. Sborník příspěvků. International conference of technology knowledge and information 2008. Ústí nad Labem, ISBN 978-80-7044-969-1
  15. Zouharová, J. The influence of the surface finishes of the sewing machine needles in their needle-eye on the sewing material. Strojírenská technologie. Ročník XII, 12/2007. ISSN 1211-4162
  16. Zouharová, J. The influence of sewing process on change of the surface finish of the machine needle. Sborník příspěvků. Mezinárodní Baťova doktorandská konference, Zlín, ISBN 978-80-7318-663-0 ( CD ISBN 978-80-7318-664-7)

#### **1.4 Ostatní publikace doktoranda**

17. Krýslová, S. - Zouharová, J. Monitoring of Proceeding and Time of Solidification of the Castings from Zinc and his Alloys to Different Types of the Casting Moulds. In.: 44.th Foundry Days a 4. International Ph.D. Foundry Conference. 2007, Brno, CD. ISBN 978-80-214-3496-7.
18. Zouharová, J. – Krýslová, S. Study on influence of surface treatments of the machine sewing needles on mechanical stress of the machine sewing needles in the sewing process. In.: 11. Mezinárodní vědecká konference - Strojné inžierstvo SI 2007 STU Bratislava, ISBN 978-80-227-2768-6.

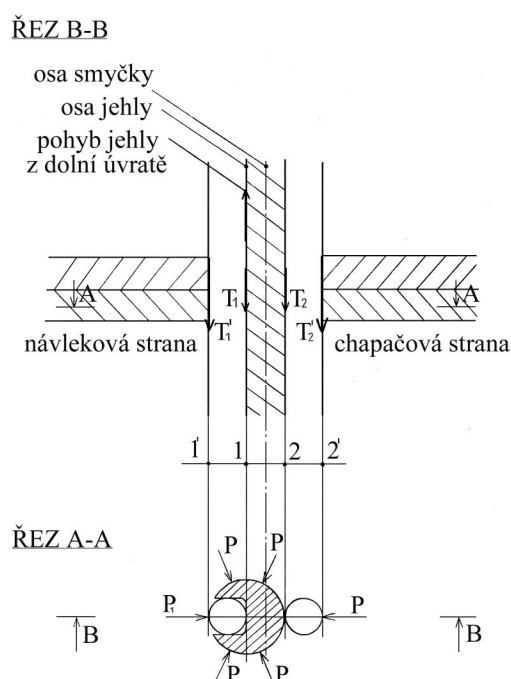
## 2. CHARAKTERISTIKA ŠICÍHO PROCESU INTERAKCE JEHLY A ŠICÍHO MATERIÁLU.

Tato kapitola je zaměřena na charakteristiku šicího procesu, který je jedním z důvodů nutnosti kvalitních povrchových úprav strojních šicích jehel.

Vztah jehly a šicího materiálu (nitě) je dosti složitý a je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících kvalitu vzniklého spoje.

Šicí nit je při šití v kontaktu s povrchovou vrstvou jehly a to přímo s povrchovou vrstvou těla jehly i v drážkách a hlavně v oušku jehly, kudy šicí nit prochází při tvorbě stehu.

Charakteristickým znakem strojového šití je, že strojní šicí jehla propíchne šitý materiál, vznikne tzv. vpich a ve stejném směru, ale opačném smyslu se opět vypíchne z šitého materiálu. Při vytažení z díla zanechá strojní šicí jehla za sebou na rubové straně smyčku, která je použita pro tvorbu stehu. Vytvoření smyčky podmiňují silové poměry viz obr. 2-1.

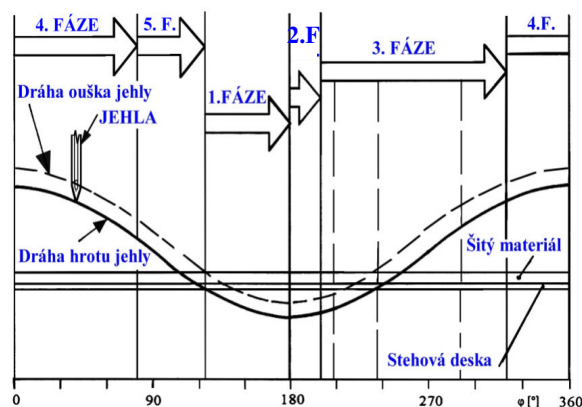


Obr. 2-1 Schéma silového poměru na strojní šicí jehle při šití

Strojní šicí jehla s jehelní nití propíchnutá dílem svírá vnitřní napětí  $P$ , které v propíchnutém otvoru působí na jehlu ze všech stran. Při zpětném pohybu jehly vzhůru je nit přitlačována k jehle tímto vnitřním napětím. Na návlekové straně je nit vtlačena do dlouhé drážky, na chapačové straně je nit přitlačena k tělu jehly. Na nit vtlačenou

do dlouhé drážky nepůsobí síla  $P$ , ale její menší složka  $P_1$ . Na chapačové straně je nit přitlačována k tělu jehly silou  $P$ .

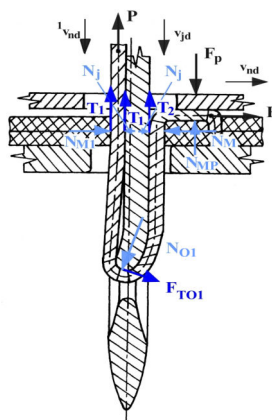
Na strojní šicí jehlu v jednotlivých fázích tvorby stehu, viz obr. 2-2, působí různé silové poměry, které ovlivňují kvalitu povrchové úpravy strojních šicích jehel.



Obr. 2-2 Schéma jednotlivých fází tvorby stehu [1]

O první fázi mluvíme tehdy, když se jehla zapichuje do šitého materiálu a větev jehelní nitě na straně krátké drážky jehly se pomalu zvedá směrem vzhůru a je šitým materiálem, otvorem ve stehové desce a strojní šicí jehlou tlačena k horní části ouška jehly.

Rozbor sil působících na povrchovou vrstvu jehly ve fázi jedna je znázorněn na obr. 2-3.

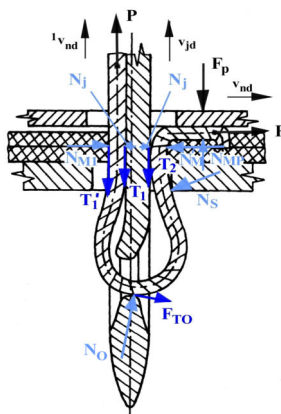


Obr. 2-3 Schéma jehly v šitém materiálu [1]

V druhé fázi se strojní šicí jehla začíná pohybovat směrem vzhůru z dolní úvrati a vlivem tření mezi šitým materiálem, šicí nití a strojní šicí jehlou se tvoří smyčka z šicí nitě, která je důležitá pro správnou tvorbu stehu, viz obr. 2-3.



Rozbor sil působících na povrchovou vrstvu jehly ve fázi dvě je znázorněn na obr. 2-4.



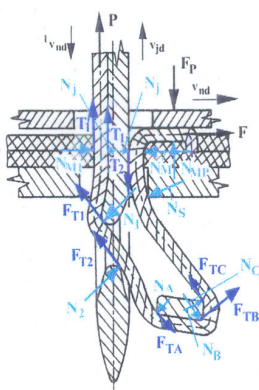
Obr. 2-4 Schéma počátku tvorby smyčky z nitě [1]

Třetí fázi, která se týká zachycení vzniklé smyčky z jehelní nitě chapačem, můžeme rozdělit na tyto části tvorby stehu:

1. vniknutí hrotu chapače do smyčky vytvořené z jehelní nitě;
2. jehla se nachází ouškem v šitém materiálu a nit je vtahována hrotem chapače na tělo chapače;
3. jehla je nad šitým materiálem před sesmeknutím šicí nitě z těla chapače.

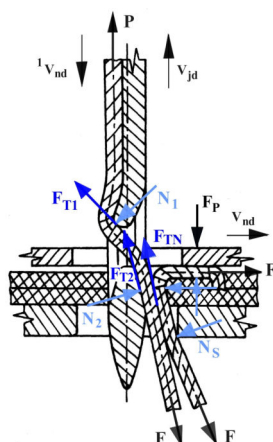
Zachycení šicí nitě hrotem chapače způsobí změnu rychlosti pravé větve smyčky šicí nitě na chapačové straně, která se stává funkcí chapače.

Rozbor sil působících na povrchovou vrstvu jehly ve fázi tři - vniknutí hrotu chapače do smyčky vytvořené z jehelní nitě - je znázorněn na obr. 2-5.



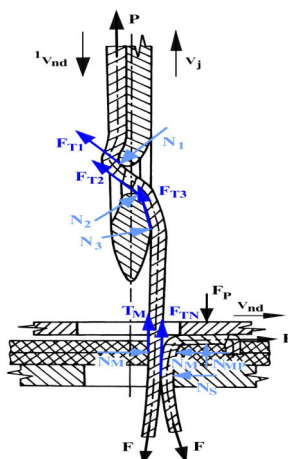
Obr. 2-5 Schéma zachycení smyčky nitě hrotem chapače [1]

Rozbor sil působících na povrchovou vrstvu jehly ve fázi tři - jehla se nachází ouškem v šitém materiálu a nit je vtahována chapačem, - je znázorněn na obr. 2-6.



Obr. 2-6 Schéma ouška jehly v šitém materiálu [1]

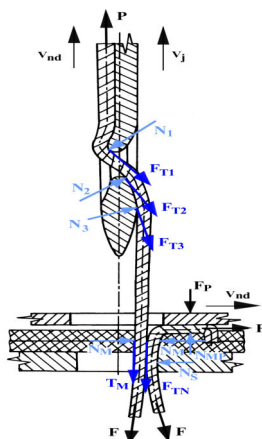
Rozbor sil působících na strojní šicí jehlu ve fázi tři - jehla je nad šitým materiálem před sesmeknutím šicí nitě z těla chapače - je znázorněn na obr. 2-7.



Obr. 2-7 Schéma okamžiku před sesmeknutím nitě z těla chapače [1]

Čtvrtá fáze tvorby stehu nastává v okamžiku sesmeknutí smyčky šicí nitě z hrotu chapače. Smyčka z jehelní nitě se stahuje z těla chapače v momentě, kdy je hrot jehly nad šitým materiálem.

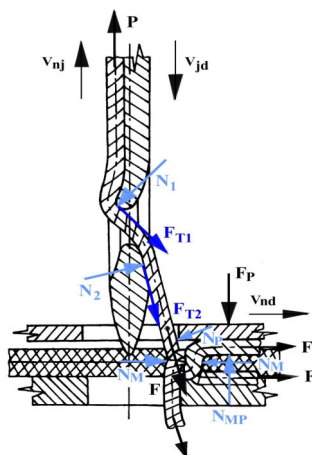
Rozbor sil působících na povrchovou vrstvu jehly ve fázi čtyři je znázorněn na obr. 2-8.



Obr. 2-8 Schéma napínání jehelní nitě vlivem nit'ové páky [1]

Tvorba stehu končí pátou fází, kdy dochází k utáhnutí stehu až po okamžik dalšího vpichu do díla.

Rozbor sil působících na povrchovou vrstvu jehly ve fázi pět je znázorněn na obr. 2-9.



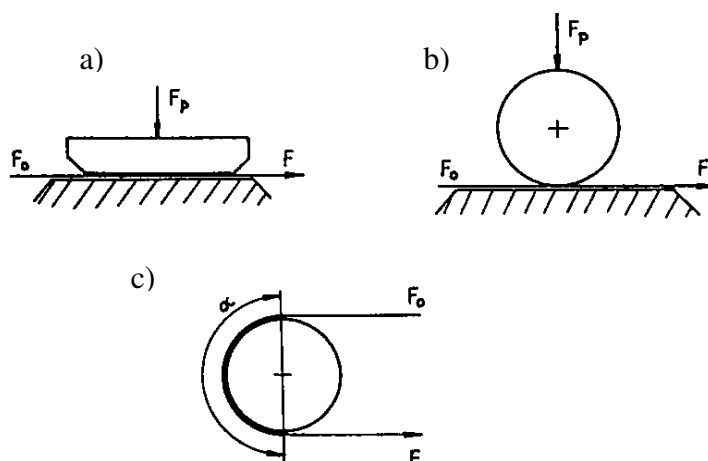
Obr. 2-9 Schéma hrotu jehly vnikající ho do šitého materiálu [1]

Velikost výše uvedeného silového působení na povrch jehly je mj. také závislá na konkrétním místě, kterým jehla proniká do šitého materiálu. Jestliže strojní šicí jehla proniká otvorem mezi osnovními a útkovými nitěmi, síly jsou relativně rovnoměrně rozloženy. Naráží-li strojní šicí jehla na nit osnovní nebo útkovou, musí strojní šicí jehla překonávat větší odpor kladený nití proti jejímu vnikání a proto i silové působení na povrchovou vrstvu strojní šicí jehly bude větší. Avšak proniká-li strojní šicí jehla vazným bodem osnovním nebo útkovým šitého materiálu, k odporu kladeného nití se přidává i odpor nití proti narušení vláken či jejich úplné destrukci.

## 2.1 Oděr šicích nití při tvorbě stehu vlivem povrchové vrstvy jehly

Při výrobě povrchových vrstev jehly je dbáno nejen na kvalitu povrchu těla jehly, ale také velmi významné je provedení povrchové vrstvy ouška. Povrch ouška, viz kap. 2, má vliv na velikost vzniklých třecích sil mezi povrchem ouška a šicí nití.

Způsoby zjišťování třecích vlastností nití jsou znázorněny na obr. 2-10. Ve všech případech je třeba měřit síly  $F$  a  $F_0$ .



Obr. 2-10 Schéma způsobů zjišťování třecích vlastností šicích nití [26]

U obrázku 2-10 vzniká třecí síla působením přitlačné síly  $F_p$ , přičemž kontakt nitě s třecí plochou může být ve větší (obr. 2-9 a)) nebo malé (obr. 2-9 b)) ploše. Při tření opásáním nitě kolem průměru se uplatňuje úhel opásání (obr. 2-9 c)).

Tření může být zjišťováno v ustáleném stavu, to je při určité rychlosti pohybu nitě a nejlépe při přibližně konstantní hodnotě síly  $F_0$  nebo při změnách rychlosti (rozběh, doběh apod.), [26].

### 2.1.1 Teoretický rozbor tření nití

Klasické literární prameny [26] hodnotí změnu tahové síly v niti při tření opásáním jako projev vysoce proměnlivého součinitele tření nitě o třecí plochu. Např. vztahy Isakeva a Jefremova [26] se, až na různé označování některých veličin, shodují a po převodu na naše normované symboly má vztah pro tahovou sílu tvar

$$F = F_0 \cdot e^{\alpha f} + mv^{-2}(e^{\alpha f} - 1), \quad (2.1)$$

kde  $m$  je uvedeno jako hmotnost jednotky délky niti bez uvedení rozměru. Tato veličina by měla být patrně nahrazena délkou hmotností nitě  $T$  a převodní konstantou.

Vztah je zaměřen především na postihnutí vlivu rychlosti pohybu nitě  $v$ . Skutečný vliv rychlosti, ale bude asi komplikovanější a lze předpokládat, že při velkých rychlostech bude přírůstek tahové síly pomalejší, než-li by odpovídalo kvadratické závislosti. Skutečnost, že i při neměnné rychlosti a úhlu opásání závisí poměr  $F/F_0$  výrazně i např. na velikosti síly  $F_0$ , je ve vztahu (2.1) zahrnuta jenom tak, že můžeme součinitele tření  $f$  chápat jako proměnnou hodnotu.

Na tření nitě opásáním je, ale možno nahlížet i jinak. Součinitel tření závisí na kontaktním napětí nití a třecím povrchu tak, že vychází závislost regresního charakteru. Při větším kontaktním napětí vychází menší součinitel tření. Další přírůstek tahové síly v niti je, ale při tření opásáním způsoben tím, že se nit musí ohnout na jistý poloměr a opět narovnat a rovněž tím, že se deformuje průřez nitě. Přírůstek tahové síly v niti při tření opásáním způsobuje deformaci nitě (především ohybovou) - označíme  $F_b$ . Na prohnutí a opětné narovnání nitě se spotřebuje jistá energie, která musí být do třecího místa přivedena právě prostřednictvím složky tahové síly v niti  $F_b$ . V případě dokonalé pružné nitě se žádná energie ztrácet nebude, u reálné nitě může být složka  $F_b$  zhruba srovnatelná s přírůstkem síly způsobeným třením nitě.

Další síla, se kterou je třeba počítat při velkých rychlostech, je dynamická síla způsobena změnou směru pohybu nitě při tření opásáním. Tuto sílu si můžeme označit samostatně  $F_d$ , je ale potřeba si uvědomit, že se projevuje prostřednictvím třecí síly  $F_0$ . Dynamická síla při velkých rychlostech zmenšuje velikost kontaktního napětí a to vede ke zmenšení třecí síly.

Poslední složka uvedená ve vztahu (2.2) pod označením  $F_v$  zahrnuje vliv viskózního vzduchového prostředí na tahovou sílu nitě. Projevuje se rovněž jenom při velkých rychlostech a může vést jak ke zvětšování tahu nitě (odpor vzduchu proti axiálnímu pohybu nitě), tak případně i ke zmenšení třecí složky síly (vliv vzduchového polštáře).

Vztah pro tření nitě opásáním lze zapsat ve tvaru rovnice :

$$F = F_0 \cdot e^{cf} + F_b + F_d + F_v \quad (2.2)$$

Jednotlivé členy nejsou na sobě nezávislé. Složka  $F_b$  se projevuje zejména při malých hodnotách síly  $F_0$ . Přitom je třeba počítat s tím, že pro malé hodnoty  $F_0$  nit nemusí být deformována až na poloměr třecího místa. Nit se přimkne k opásané části

nejprve na malém, téměř bodovém úseku a teprve se zvětšováním  $F_o$  se překonává ohybová tuhost nitě a nit se ohýbá postupně na poloměr odpovídající třecí ploše.

Složky  $F_d$  a  $F_v$  se budou uplatňovat jenom při velkých rychlostech. I v takto upraveném vztahu bude, ale potřeba počítat s proměnlivostí součinitele tření  $f$ , který závisí např. na hodnotě kontaktního napětí, na rychlosti posuvu nitě (myšleno bezprostředně, ne vlivem změny kontaktního napětí existencí složky  $F_d$ ), apod.

Přehled různých řešení zabývajících se změnou tahové síly v niti při tření opásáním uvádí Kowalski. Autory jednotlivých vztahů jsou Euler (2.3), Howell a Lincoln (2.4), Ragoza (2.5), Kowalski (2.6), Fieles-Kahl a Hell (2.7) a Garbaruk (2.8), [26].

Dle Eulera lze napsat vztah ve tvaru:

$$F = F_o \cdot e^{\mu\alpha} \quad (2.3)$$

kde značí:  $F_o, F$  - vstupní a výstupní tahová síla v niti;

$\mu$  - součinitel tření;

$\alpha$  - úhel opásání;

$T$  - třecí síla;

$N$  - normálová síla.

Howell a Lincoln uvádí vztah pro výpočet síly ve tvaru :

$$F = F_o \left[ 1 + (1-n)a \left( \frac{\rho}{F_o} \right)^{1-n} \right] - \frac{1}{n} \quad (2.4)$$

kde  $a, n$  jsou experimentální konstanty dosazované do zevšeobecněného třecího zákona.

Ragoza používá vztah ve tvaru:

$$F = F_o \cdot e^{\mu\alpha} + \frac{EJ}{2\rho^2} (e^{\mu\alpha} - 1) \quad (2.5)$$

kde značí:  $E$  - modul pružnosti nitě v tahu;

$J$  - moment setrvačnosti průřezu nitě;

$\rho$  - poloměr zakřivení třecí plochy.

Dle Kowalského lze sílu vypočítat dle vztahu:

$$F = F_0 \cdot e^{\mu\alpha} + \frac{ED^3}{12} \cdot (e^{\mu\alpha} - 1) \quad (2.6)$$

kde značí:     D - průměr nitě;  
                   ε - podélná deformace nitě;  
                   σ - napětí působící v nitě.

Fieles-Kahl a Hell uvádějí vztah :

$$F = F_0 \cdot e^{\mu\alpha} + \frac{R}{\mu} (e^{\mu\alpha} - 1) \quad (2.7)$$

kde značí:     R - odpor tření tekutiny podle Newtonova zákona;  
                   η<sub>c</sub> - dynamická viskozita;  
                   v - rychlost pohybu nitě.

Podle Garbaruka lze sílu F určit:

$$F = F_0 \cdot c^{\mu\alpha} + \frac{v^2}{Nm \cdot g} (e^{\mu\alpha} - 1) \quad (2.8)$$

kde značí:     Nm - metrické číslo nitě;  
                   g - tíhové zemské zrychlení;  
                   F<sub>f</sub> - dostředivá síla.

Jak je z uvedených vztahů zřejmé, změna tahové síly je v každém případě ovlivněna součinitelem tření. Tahová síla je významným faktorem ovlivňujícím mechanické vlastnosti šicích nití.

Na základě výše uvedeného rozboru vyplývá, že povrchová vrstva jehly je vystavena značnému třecímu účinku, který má za následek ohřev povrchu jehly a dále je povrchová vrstva jehly vystavena značnému abrazivnímu a adheznímu opotřebení.

V praxi je neustále snaha potlačit nežádoucí ohřev šicí jehly při šití a tím zvýšení její životnosti a snížení nežádoucích účinků povrchové vrstvy jehly na šicí a šitý materiál. Již zmíněné povrchové úpravy jehel významně snižují hodnoty koeficientu

tření a tím i vzniklé teplo. Také snížení rychlosti šití vede ke snížení teploty jehly, ale toto řešení by vedlo ke snižování produktivity práce.

V současné době se navrhuje opatření, která snižují teplotu jehly při šití:

A) Chlazení - ofukování jehly vzduchem nebo vodní mlhovinou.

Ke snížení teploty jehly přispívá též chlazení jehly proudem vzduchu. Pro chlazení jehly vzduchem bylo vyvinuto mnoho zařízení dosud však málo užívaných. Liší se způsobem přívodu chladicího vzduchu k jehle a umístěním přívodové trysky. Přívod vzduchu bývá umístěn pod stehovou deskou nebo ve stehové desce, v přítlačné patce, v jehelní tyči nebo bývá vzduch přiváděn zvláštní regulovanou tryskou nad stehovou deskou.

B) Navlhčení šicí nitě.

Ke snížení tření a tím i ke snížení teploty jehly a ke zmenšení přilnavosti roztavených částí syntetických materiálů slouží dosud málo používané mazání jehel silikonovými oleji nebo silikonovými emulsemi. Častěji je používáno silikonových olejů nebo emulzí k mazání šicích nití. Emulze se z nití při průchodu dlouhou drážkou jehly odpařuje a odnímá teplo jehle, současně dlouhou drážku jehly a částečně i tělo jehly při průchodu šitým dílem maže.

Mazání nití se provádí především u šicích strojů pro šití kůže, materiálů s příměsí syntetických vláken nebo materiálů zcela syntetických.

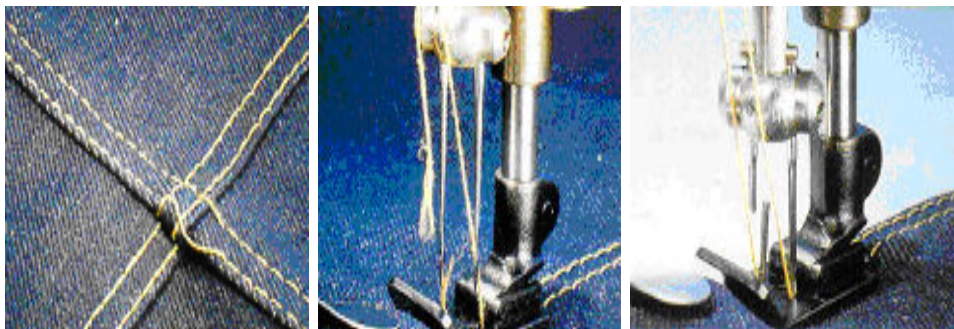
C) Změna geometrie tvaru a nové povlaky jehly.

Při průmyslovém šití dosahuje jehla při vpichu značně vysokých rychlostí. Textilní vlákna nebo příze potom musí v místě vpichu ustupovat jehle v neuvěřitelně krátké době 0,0003 sekundy. Jehla tato vlákna roztahuje. Čím je jehla silnější, tím je větší síla roztahování a účinky smršťování, viz kapitola 2. Dochází k výskytu nepravidelných švů, chybných stehů a lámání jehel, viz obr. 2-11. Rychlost stroje se musí drasticky snížit a tím se snižuje produktivita práce, [7].

Nové typy jehel jsou vyvinuty pro vhodnou techniku šití při zpracování technických textilií. Sešívání spoje extrémně tvrdých materiálů s tkaninami nebo úplety, často lepené nebo podlepené (kašírované) pěnovými materiály, nejsou žádnou vzácností. U těchto materiálů je odpor při vpichu velmi vysoký. Vlivem vysokého odporu šitého materiálu při průpichu vznikají nepříznivé jevy:



- a) chybné (vynechané) stehy (obr. 2-11a));
- b) poškození špičky šicí jehly;
- c) poškození šitého materiálu;
- d) rozplétání a přetržení šicího materiálu (obr. 2-11b));
- e) zlomení šicí jehly (obr. 2-11c)).



a)

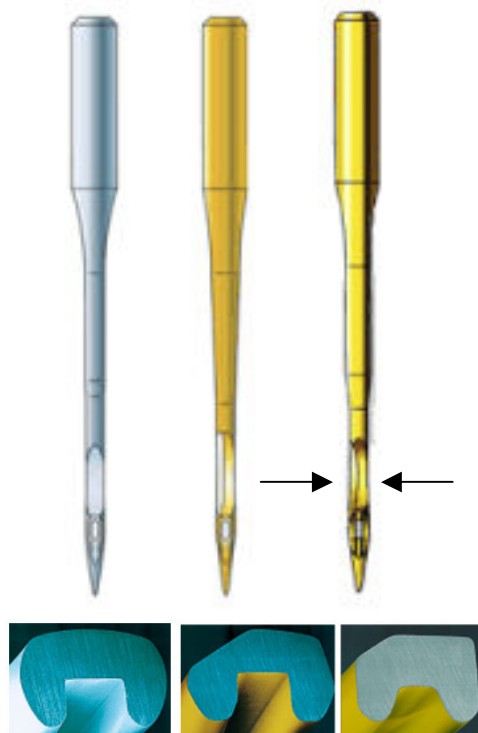
b)

c)

Obr. 2-11 a) chybné stehy, b) přetržení šicího materiálu, c) zlomení jehly, [7]

Geometrie stvolu nových jehel, viz obr. 2-12, je koncipována tak, aby se zabránilo výše uvedeným problémům. Šicí jehly používané k šití nových druhů materiálů by měly vykazovat vysokou stabilitu při šití a to zajišťují nové geometrické tvary a zvláštní tvar ouška, špic, hrotů a nové druhy povrchů strojních šicích jehel. Tyto znaky zaručují i za extrémně špatného utváření smyčky relativně velký volný prostor mezi nití a jehlou a dále došlo ke zvýšení tuhosti, ke snížení poškozování šicího i šitého materiálu, snížení síly průpichu a vychýlení jehly (chybějící stehy, zlomení jehly) a tudíž došlo k vyšší bezpečnosti šicího procesu. Výsledkem je méně chybných stehů a méně časté přetržení nití.

Vlivem vytvoření nových druhů povlaku jako např. nitridu titanu získají šicí jehly vysokou ochranu proti opotřebení a poškození a tím se zvyšuje jejich životnost.



Obr. 2-12 Schéma jehly standardní (vlevo) a nové typy jehel (vpravo) [7]

## 2.2 Rozbor namáhání strojové šicí jehly

Také namáhání strojních šicích jehel souvisí s její trvanlivostí a kvalitou povrchové úpravy.

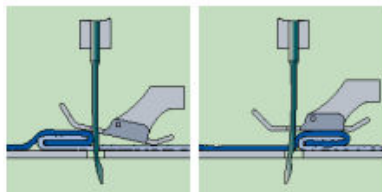
Při šití dochází k mechanickému a tepelnému zatížení jehly. Jejich velikosti závisí na podmínkách šití a to zejména na šitém a šicím materiálu, počtu vrstev šitého materiálu, rychlosti šití, tvaru a povrch jehly atd.

Při procesu strojového šití je strojní šicí jehla zatěžována především:

- a) ohybem;
- b) vzpěrem;
- c) teplotou;
- d) statickým namáháním.

### 2.2.1 Zatížení ohybem

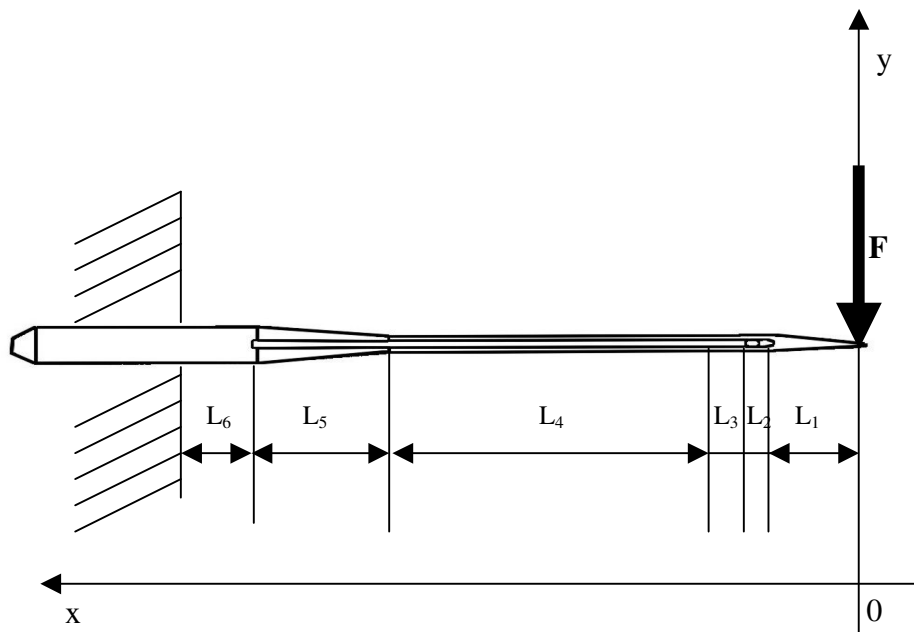
Zatížení ohybem je při šití nežádoucí a vyskytuje se nahodile. Vyskytuje se tehdy, je-li strojní šicí jehla odváděna od směru kolmého vpichu příčnou silou vlivem šitého materiálu nebo při přeshívání tlustých, zejména příčných švů viz obr. 2-13.



Obr. 2-13 Schéma ohybu jehly při šití [7]

Z hlediska pružnosti lze jehlu považovat za vetknutý nosník, který je na volném konci v místě ouška zatížen silou  $F$ , viz obr. 2-14. Řešení této problematiky, resp. vnitřních statických účinků lze provést metodou myšleného řezu STŘÍŽ [28]. Z rovnic rovnováhy v libovolném řezu lze vypočítat vnitřní statické účinky: posouvající sílu  $T(x)$  a ohybový moment silové dvojice  $M(x)$ .

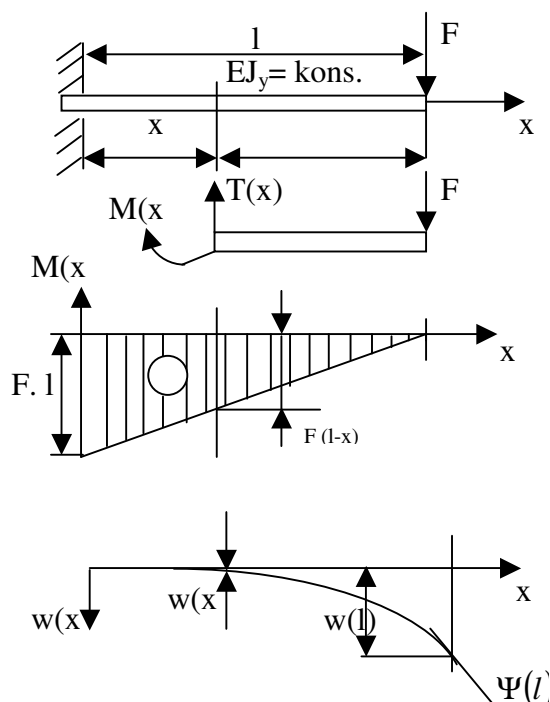
Libovolný bod jehly se při zatížení posune o hodnotu  $w$ , kterou nazýváme průhyb. Úhel tečny k průhybovce v uvažovaném bodě označujeme  $\varphi$  (tj. sklon). Pro výpočet průhybu a natočení při známém ohybovém momentu a tuhosti jehly vycházíme z řešení nelineární diferenciální rovnice ohybové čáry. Přehled vztahů pro výpočet je v tabulce 2.1.



Obr. 2-14 Schéma strojní šicí jehly jako zatížený vetknutý nosník [vlastní schéma]

Tabulka 2.1 Přehled vztahů pro výpočet ohybu jehly, [22].

Název veličiny	Vztah	Poznámka
Diferenciální rovnice	$w''(x) = -M(x)/(EJ_y)$	$w' = dw/dx \ll 1$
Sklon (úhel sklonu)	$\varphi(x) = w'(x)$	$w(x)$ – průhyb
Ohybový moment	$M(x) = -F \cdot (L-x)$	$x$ – myšlený řez se vede ve vzdálenosti $x$ od vetknutí; $L$ – délka nosníku
Dosazení do diferenciální rovnice	$w''(x) = F \cdot (L-x)/(E \cdot J_y)$	$E$ – Youngův modul pružnosti $J_y$ – moment setrvačnosti k ose $y$
Sklon ohybové čáry	$w'(x) = \varphi(x) = F \cdot (Lx - x^2/2 + c_1)/(E \cdot J_y)$	$\varphi(x)$ – sklon
Průhyb	$w(x) = F \cdot (Lx^2/2 - x^3/6 + c_1x + c_2)/(E \cdot J_y)$	$w(x)$ – průhyb
Neznámé integrační konstanty	$c_1, c_2$	se určí z okrajových podmínek $w'(0) = 0; w(0) = 0$
	$c_1 = 0; c_2 = 0$	
Sklon ohybové čáry v místě $(x)$	$\varphi(x) = F \cdot (Lx - x^2/2 + c_1)/(E \cdot J_y) = F \cdot L^2 (2x/L - x^2/L^2) / (2E \cdot J_y)$	
Průhyb v místě $(x)$	$w(x) = F \cdot L^3 (3x^2/L^2 - x^3/L^3) / (2 \cdot E \cdot J_y)$	
Maximální sklon na špičce jehly	$\varphi_{\max} = \varphi(L) = F \cdot L^2 / (2EJ_y)$	
Maximální průhyb na špičce jehly	$w_{\max} = w(L) = FL^3 / (3EJ_y)$	



Obr. 2-15 Schéma ohybového zatížení jehly [vlastní schéma]

### 2.2.2 Zatížení jehly vzpěrem

Namáháním na vzpěr je jehla zatížena při každém vpichu do šitého materiálu. Šicí jehla je namáhána na vzpěr proto, že její šicí délka je minimálně 25 násobek jejího průměru. Z hlediska pružnosti a pevnosti materiálu strojní šicí jehla představuje štíhlý prut. Štíhlé pruty při namáhání tlakem mohou příčně vybočit. U jehly to způsobuje maximální tlaková síla působící na jehlu, která je rovna kritické síle. Kritická síla  $F_{KR}$  způsobuje kritické napětí  $\sigma_{KR}$  v průřezu jehly. Na strojové šicí jehle vznikají příčné průhyby (vybočení ze svislé polohy) čili vzpěr. Příčné průhyby při dalším nepatrném zvětšení tlakové síly se zvětšují a vedou až ke zlomení jehly. Proto je možno sílu  $F_{KR}$  považovat za destruktivní.

Na základě Eulerova vztahu pro vzpěr lze stanovit hodnotu kritické síly  $F_{KR}$  ve strojní šicí jehle:

$$F_{KR} = (\pi^2 \cdot E \cdot J_{\min}) / (\mu \cdot l)^2; \quad (2.9)$$

kde značí:  $F_{KR}$  - kritickou sílu v jehle [N];

$E$  - Youngův modul pružnosti v tahu (pro ocel  $E = 2,1 \cdot 10^5$  MPa);

$J_{\min}$  - moment setrvačnosti v průřezu šicí jehly [mm<sup>4</sup>]

$$J_{\min} = \pi d^4/64 - d^4/48 = 2,82 \cdot 10^{-2} \cdot d^4;$$

$\mu$  - koeficient redukované délky jehly [1];

$l$  - délku stvolu jehly (od špice k dříku) [mm];

$d$  - průměr těla jehly [mm].

Odvození některých dalších dílčích veličin je uvedeno v tabulce 2.2. V tabulce 2.3 jsou uvedeny vztahy pro výpočet vzpěru jehel většího průměru (označovaných č. 100; č. 140; č.160).

Tabulka 2.2 Přehled vztahů pro výpočet kritické síly jehly při namáhání na vzpěr, [22]

Název počítané veličiny:	Vzorec:	Poznámka:
Kritická síla	$F_{KR} = F_{DOV} \cdot n$	$n$ – koef. bezpečnosti
	$F_{KR} = \pi^2 \cdot E \cdot J_{\min} \cdot (\mu \cdot l)^{-2}$	
Moment setrvačnosti (k ose $y$ )	$J_y = J_{y1} + b \cdot h \cdot a^2$  $b \cdot h \cdot a^2 = d/2 \cdot d/2 \cdot (d/4)^2$ $= d^4/64$  $J_y = d^4/192 + d^4/64$ $= d^4/48$	$b$ – šířka drážky $(b = d/2)$ $h$ – hloubka drážky $(h = d/2)$ $a$ – vzdálenost těžiště k ose $y$ $(a = d/4)$ $d$ – průměr těla jehly
Moment setrvačnosti průřezu drážky	$J_{y1} = bh^3/12$ $J_{y1} = d/2 \cdot (d/2)^3 \cdot 1/12$ $= d^4/192$	vzhledem k její centrální ose $y_1$
Minimální moment setrvačnosti	$J_{\min} = \pi \cdot d^4/64 - J_y$ $J_{\min} = \pi \cdot d^4/64 - d^4/48$ $J_{\min} = 2,8254 \cdot 10^{-2} \cdot d^4$	

Tabulka 2.3 Přehled výpočtů na vzpěr jehel většího průměru a malé funkční délky, [22]

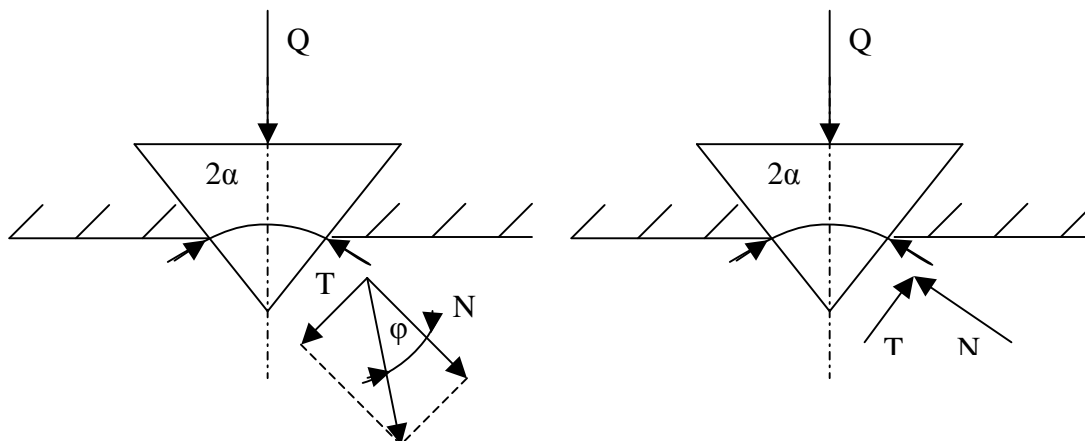
Název veličiny	Vztah	Poznámka
Eulerova podmínka	$\sigma_{KR} = F_{KR}/S_{min}$ $\sigma_{KR} = \pi^2 \cdot E / \lambda^2 \leq \sigma_{DOV}$	$F_{KR}$ – kritická síla; $S_{min}$ – plocha příčného řezu strojové šicí jehly; $\lambda$ – štíhlost šicí jehly; $\sigma_{DOV}$ – dovolené napětí
Štíhlost šicí jehly	$\lambda = \mu \cdot l / i$	$\mu$ – koeficient redukce jehly; $i$ – poloměr setrvačnosti
Poloměr setrvačnosti	$i = (J_y / S_{min})^{1/2}$	$S_{min}$ – plocha příčného řezu strojové jehly;
Plocha příčného řezu strojové jehly	$S_{min} = \pi \cdot d^2 / 4 - b \cdot h$ $= \pi \cdot d^2 / 4 - d^2 / 4$ $= 0,53539 \cdot d^2$	$b$ – šířka drážky jehly $b = d/2$ $h$ – hloubka drážky jehly $h = d/2$
Při podmínce	$\sigma_{DOV} > \sigma_{DOV}$	probíhá vzpěr s plastic. deformacemi strojové jehly
Při podmínce	$\lambda \leq 40; l/d \leq 10$	je nutno provést výpočet jehly i na tlak
Vzpěrná síla pomocí Eulerova vztahu	$F_{KR} = \pi \cdot E \cdot J / 4 \cdot l^2$	

**Poznámka:** Vypočítaná  $F_{KR}$  se zmenší, je-li moment setrvačnosti uvažován k ose y ( $J_y$ ) proti momentu setrvačnosti k ose x ( $J_x$ ).

### 2.2.3 Statické namáhání

Strojní šicí jehla proniká mezi nitěmi nebo přímo nitěmi tkaniny a působí jako klín.

Když strojní šicí jehla vniká do tkaniny působí na ni síla  $Q$ , která jakoby jehlu zarážela a na její boky působí normálové síly  $N$  a rovnoběžně s bokem klínu třecí síly  $T$ .



Obr. 2-16 Schéma působení jehly na tkaninu a tkaniny na strojní šicí jehlu

Třecí síly způsobují vznik tepla a zahřívání jehly i šitých materiálů.

Na základě obecných zákonitostí mechaniky lze psát souvislost mezi třecí (T) a normálovou silou (N):

$$T = N \cdot f, \quad (2.10)$$

kde značí:  $f$  - součinitel tření mezi plochami klínu a šitým materiálem.

Součinitel tření lze určit:

$$f = \operatorname{tg} \varphi \quad (2.11)$$

kde značí:  $\varphi$  - úhel tření, tzn. mezní hodnotu úhlu, o který se odchyluje směr výsledné reakce  $R$  opěrné plochy klínu od směru kolmice k opěrné ploše.

Výsledná síla šicí jehly  $Q$  potřebná k průpichu šitého materiálu se stanoví ze vztahu:

$$Q = 2 \cdot N \cdot \sin \alpha + 2 \cdot T \cdot \cos \alpha \quad (2.12)$$

Na základě dosazení vztahů (2.10) a (2.11) do vztahu (4) lze stanovit sílu jehly  $Q$  potřebnou k průpichu šitého materiálu:

$$Q = 2 \cdot N \cdot \sin (\alpha + \varphi) / \cos \varphi \quad (2.13)$$

Síla  $Q$  závisí na rozdělení nití osnovních a útkových nebo vláken, které tkaninu tvoří (tj. jaký odpor působí tkanina na strojní šicí jehlu), ale také na hodnotě tření jehly o tkaninu,



Síla při průpichu materiálu závisí na mechanických vlastnostech tkaniny nebo pleteniny, průměru a úhlu špice strojové šicí jehly, poloměru otupení hrotu jehly, pohybové rychlosti jehly.

#### 2.2.4 Tepelné zatížení

Strojní šicí jehla je při šicích cyklech tepelně namáhána. To je způsobeno především tím, že při průpichu překonává třecí odpor, který klade šitý materiál proti pohybu jehly. Vlivem tření dochází ke vzniku tepelné energie (tepla) a tím k ohřevu strojové šicí jehly. Intenzita ohřevu je přímo závislá na otáčkách šicího stroje, tloušťce, charakteru a povrchové úpravě šitého materiálu.

Tyto nežádoucí jevy se nejvíce projevují při šití syntetických materiálů, jejichž teplota degradace je nižší než u přírodních materiálů viz tabulka 2.4.

Tabulka 2.4 Teploty tání a měknutí syntetických vláken

Druh vlákna	Teplota měknutí [°C]	Teplota tání [°C]
PA6	170 až 190	215 až 218
PA 6.6	235	245 až 255
PL	230 až 240	250 až 260
PP	149 až 160	163 až 175
PAN	190 až 220	235 až 250
PU	170	183

Jednou z prvních odborných prací, která se zabývala ohřevem jehel (rychlloběžných šicích strojů) je práce Antonenka z roku 1935, který předpokládal nepříznivý vliv ohřevu šicí jehly. Dále se však touto problematikou nezabýval. Později Howard a kol. [22] se pokusili popsat sdílení tepla mezi jehlou a šitým materiálem a vytvořit celkový náhled na vznik tepla při strojovém šití. Vytvořili jednoduchý model ohřevu jehly. Jehlu nahradili pravidelným válcem pronikajícím do materiálu. S ohledem na teoretické předpoklady popsali základní mechanismy sdílení tepla:

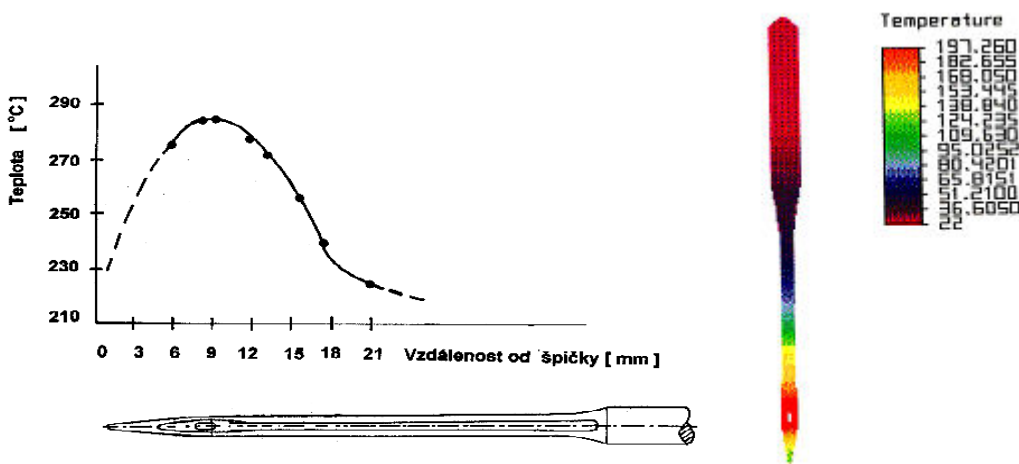
- mechanismus kondukční zprostředkovává až 80 % celkového přestupu tepla;
- mechanismus konvekční, odvádí 18 % tepla;
- mechanismus sálání, představuje 2 % přenosu tepla.

Touto problematikou se také zabývali např. Lopatkin, Nestler, Arnold a další jak uvádí [22], kteří zkoumali vliv různých faktorů na ohřev jehly při šití. Lopatkin poukazuje také na důležitost seřízení kloubového mechanismu. Při optimální rychlosti vnikání jehly do šitého materiálu lze snížit teplotu ohřevu jehly o 40 až 120 °C.

V 70. letech byl prováděn průzkum příčin zvyšování teploty strojové šicí jehly Motejl [17]. Dospěl k závěru, že u rychloběžných šicích strojů dosahuje ohřev jehly teplot až nad 200 °C. Takto vysoká teplota způsobuje narušení a destrukci šitého materiálu, ale také snižuje funkční a mechanické hodnoty šicí jehly. To je myšleno v souvislosti s překročením hranice popouštěcí teploty, která je cca 220 °C. Této teplotě odpovídá požadovaná tvrdost jehly HV0,05 780 ±50. Při teplotách vyšších postupně dochází ke změně struktury jehly a tím ke snížení tvrdosti Motejl [17].

Teplota jehly 20 °C má nepříznivý vliv při šití syntetických materiálů, které degradují při nižších teplotách než materiály přírodního typu [17].

Na obr. 2-17 je uvedeno rozložení teplot v jednotlivých částech jehly při šití podle Nasirova [19]. Z obrázku je zřejmé, že nejvyšší teplota je v okolí ouška jehly, která činí cca 295 °C. To je v souvislosti s průběhem propichovacích sil. Odlišnost je však v tom, že i poměrně vysoká teplota se objevuje na hrotu jehly (cca 270 °C). To znamená, že celá oblast špičky šicí jehly je vystavena značnému tepelnému namáhání.



Obr. 2-17 Rozložení teplot po délce strojové šicí jehly v průběhu šití [19], [20]

Hodnoty teplot na jehle jsou závislé na mnoha okolnostech jako např. na typu stroje, resp. rychlosti šití, šitém materiálu, na podmínkách šití (součiniteli přestupu tepla, součiniteli tření), ale také na šicí jehle (způsobu povrchové úpravy, geometrii a druhu špičky, atd.).

Velmi důležitá je závislost teploty jehly na její povrchové úpravě. Povrchové úpravy šicích jehel mají vliv na hodnotu tření, které souvisí s výší vzniklých teplot na jehle při šití.

Firma SCHMETZ sledovala závislost teploty na povrchovou úpravu strojové šicí jehly. Následně vyvinula jehlu SCHMETZ-BLUKOLD. Tato jehla má antiadhézní povrch a zabraňuje nepříznivému zamazávání syntetických materiálů a směsných tkanin při šití. Těž má uplatnění při šití apretovaných materiálů syntetickou pryskyřicí; při použití jiných typů jehel se zanáší ouško a drážka.

Dlouhodobé výzkumy výrobců šicích jehel (např. Igla, Schmetz) ukázaly mimo povrchových úprav šicích jehel i další možnosti snížení ohřevu šicích jehel při šití:

- a) změna geometrie tvaru šicí jehly (odstupňované průměry jehel);
- b) chlazení strojové šicí jehly vzduchem nebo navlhčením šicího materiálu;
- c) snížení rychlosti šití.

V rámci výzkumu byly prováděny různé zkoušky stanovení maximálních teplot na šicích jehlách [19]. Jehly byly opatřeny povrchovými úpravami: povlakem chromu, teflonu a xylanu. Nejvyšší teploty (245 °C) dosahovala jehla s chromovým povlakem. Jehla s xylanovým povlakem vykazovala teplotu 225 °C, jehla s teflonovým povlakem 215 °C. To lze vysvětlit na základě koeficientů emise, resp. schopností předávat teplo zářením, [22].

#### PŘI ŠITÍ PŮSOBÍ I DALŠÍ VYZNAMNÉ FAKTORY NA TEPLITU ŠICÍ JEHLY:

- A) Druh šitého materiálu - má vliv na teplotu jehly. Je-li šitý materiál vyroben ze směsi, např. syntetických a přírodních vláken, pak na teplotu jehly působí vlákna přírodní (např. bavlněná). Teplota jehly je též ovlivňována druhem vazby šitého materiálu. Podle experimentálních zjištění teplota jehly klesá při tomto pořadí druhu vazeb: plátnová, keprová, atlasová.
- B) Vliv šicí nitě - výzkumy ukázaly, že šitím bez nití je teplota jehly o 30 % vyšší než při šití s nitěmi. Kromě toho na teplotu jehly působí i pohyb šicí nitě. V okamžiku nejvyšší rychlosti nitě během provázání teplota jehly krátkodobě klesá o 10 až 12%. To lze vysvětlit pohybem vzduchu vyvolaném šicí nití na oušku jehly. Čímž vzrůstá podíl sdílení tepla konvekcí, i možnost předávání tepla jehly pohybující se šicí nití.

C) Tvar špičky - má též vliv na teplotu jehly [19]. Při použití tří typů špiček jehel (normální kulatou špičku, mírně zakulacenou špičku - SES a zakulacenou špičku – SUK) bylo prokázáno, že špička má vliv na propichovací sílu při šití, tak i na maximální teplotu jehly. Pro šitý materiál je nutno použít jehlu s vhodnou špičkou. Např. Nasirov [19] doporučuje pro šití bavlny špičku SUK, [22].

#### 2.2.4.1 Sledování teplot jehly

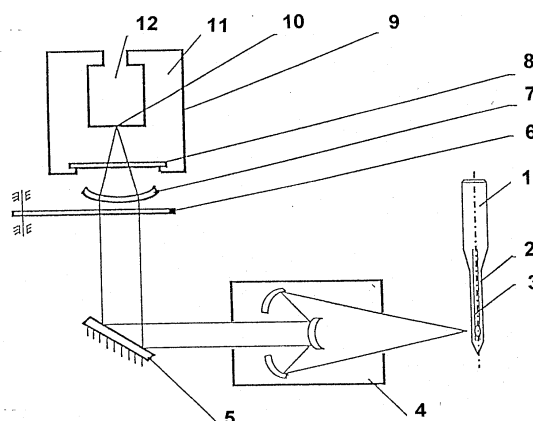
Teploty na šicí jehle lze měřit nebo stanovovat simulačním výpočtem. K měření teplot při šití se používá nekontaktní metoda měření teplot. Důvodem je vysoká rychlost pohybu jehly z horní úvrati do dolní úvrati. Bezdotykové měřicí zařízení je založeno na snímání infračerveného záření nebo termokamerou.

Využití infračerveného záření: pevné látky ohřáté na určitou teplotu, nižší než je 500 až 560 °C HORÁK [11], mohou zpravidla vyvolat neviditelné tzv. infračervené záření. Pak se mluví o teplotním (temperатурním) záření, které je součástí elektromagnetického záření látek.

Na principu snímání a registraci infračerveného záření je založena termovize, popř. jiná zařízení pracující na tomto principu. Termovize je televizní systém založený na registraci infračerveného záření. Infračervené záření emitované sledovaným předmětem (např. strojovou šicí jehlou) je zachyceno snímací kamerou a předáno na obrazovku monitoru, kde se oblasti různých teplot zobrazí odlišnými světelnými popř. barevnými plochami. Lze dobře měřit teplot předmětu s určitou emisivitou. Snímání teploty lesklých kovových předmětů je nesnadné a výsledek může být i zkreslený.

Zařízení pro měření teplot na jehle založené na infračerveném záření s čidlem HgCdTe je k dispozici na Textilním institutu v Drážďanech (Institut für Textil in Dresden), [22].

Na obr. 2-18 je uvedeno blokové schéma měřícího zařízení.



1 - dřív jehly; 2 - tělo jehly; 3 - dlouhá drážka jehly; 4 - optický systém; 5 - sklopné zrcadlo; 6 - rotační clona; 7 - čočka; 8 - destička propustná pro infračervené světlo (CdHgTe); 9 - obal Dawarovy nádoby; 10 - snímač infračerveného světla; 11 - vakuový prostor

Obr. 2-18 Blokové schéma měřicího zařízení [22]

Vedle experimentálního měření teplot na jehle při šití různých materiálů lze povést i simulační výpočet ohřevu strojové šicí jehly a stanovení rozložení teplot na jehle. K tomuto účelu byly profesně sestaveny nejrůznější simulační programy, které aplikují při výpočtu např. numerickou metodu konečných prvků (mezinárodně označována FEM - Finite Elements Method).

#### 2.2.4.2 Metody snížení nežádoucích ohřevů strojových šicích jehel

V textilní praxi při šití je neustále snaha potlačit nežádoucí ohřev jehly při šití. Již zmíněné povrchové úpravy jehel významně snižují hodnoty koeficientu tření a tím i vzniklé teplo. Také snížení rychlosti šití vede k nižší teplotě jehly. Naopak při šití na vysokootáčkovém stroji ( $6000 \text{ ot.min}^{-1}$ ) dosahuje jehla teploty vyšší než je  $400^\circ\text{C}$ , Krejčíříková [9].

V současné době se navrhují opatření, která snižují teplotu jehly, viz kap.2.1.

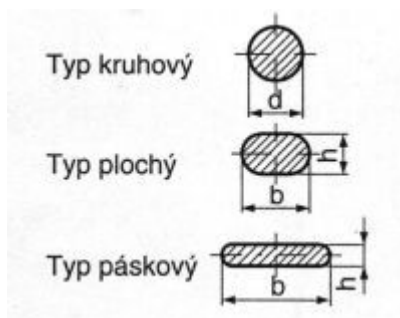
### 3. MATERIÁL, VÝROBA A TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL

K výrobě strojních šicích jehel se používá tzv. jehlový drát. Jehlové dráty jsou tažené ocelové dráty s vyšším obsahem uhlíku. Jako polotovary se k výrobě kvalitních strojních šicích jehel nejčastěji používají dráty žíhané na měkko se strukturou globulárního perlitu a lesklým povrchem. Tažené ocelové šicí dráty popisuje ČSN 42 6427, která obsahuje ještě dvě doplňkové číslice (ČSN 42 6427. x x). Význam obou doplňkových čísel je uveden v tabulce 3.1. V tabulce 3.2, jsou uvedeny charakteristiky šicích drátů. Tato norma uvádí, že šicí dráty se vyrábí z ušlechtilých uhlíkových ocelí o pevnosti v tahu 880 až 1080 Mpa, [22].

Tabulka 3.1 Význam doplňkových číslic ocelových šicích drátů.

První doplňková číslice	Pevnost v tahu [MPa]	Druhá doplň. číslice	Úprava povrchu drátu
1	350 až 550	1	kovově lesklý po tažení za mokra
2	600 až 800	2	bíle žíhaný
3	700 až 900	3	pomědřený v roztoku $\text{CuSO}_4$
4	900 až 1100	4	pozinkovaný
9	podle dohody	5	pocínovaný
		9	podle dohody

Tvary ocelových šicích drátů



Tabulka 3.2 Šicí dráty kruhového průřezu

Průměr drátu [mm]	Mezní úchytky průřezu při 2. doplňkové číslici		Pevnost v tahu podle 1.doplňkové číslice	Úprava povrchu podle 2. doplň. čísl.
	1,2,3,5	4		
0,355	± 0,01	+ 0,03 - 0,013	2,3	1,3,4,5
0,400				
0,450				
0,500				
0,560				
(0600)	±0,013	+ 0,045 - 0,017	2,3,4	2
0,630				
(0,670)				
0,710				
(0,750)				
0,800				
(0,850)				
0,900				
1,000	±0,018	+ 0,065 - 0,025	2,3,4	1,3,4,5
(1,060)				
1,120				
(1,250)				
1,400				
1,600				
1,800				

**Poznámka:** průměry drátů v závorce jsou nedoporučené.

Je známo, že šicí jehly pro strojní šití se vyrábí z drátu z mírně nadeutektoidní oceli s obsahem uhlíku nad 0,8 %. Výrobce přesnou třídu oceli pro výrobu šicích jehel záměrně neuvádí, avšak z publikace VRZAL a kol. [31] nebo JECH [12] je patrné, že jehly se vyrábí z nástrojových ocelí s vyšším obsahem uhlíku. Do této skupiny se řadí ocel ČSN 19 192, ČSN 19 221, ČSN 19 222, které se též označují nástrojové uhlíkové.

Současně vysokým obsahem uhlíku se vyznačují oceli ČSN 19 421, ČSN 19 710 i ocel ČSN 12 090. Chemické složení těchto ocelí je uvedeno v tabulce 3.3 a podmínky tepelného zpracování jsou v tabulce 3.4, [22].

Tabulka 3.3 Chemické složení vybraných typů ocelí jehel

Třída oceli	Chemické složení [%]						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
12 090	0,80 0,90	0,20 0,45	0,10 0,35			0,035	0,035
<b>19 222</b>	<b>1,05 1,20</b>	<b>0,20 0,40</b>	<b>0,15 0,30</b>	<b>max. 0,15</b>	<b>max. 0,25</b>	<b>0,04</b>	<b>0,035</b>
19 191	0,95 1,10	0,20 0,35	0,15 0,30	max. 0,15	max. 0,20	0,035	0,035
19 221	1,10 1,25	0,20 0,35	0,15 0,30	max. 0,15	max. 0,20	0,035	0,035
19 421	1,10 1,25	0,15 0,35	0,15 0,35	0,90 1,20	max. 0,35	0,035	0,035
19 710	1,10 1,25	0,15 0,40	0,15 0,35	0,30 0,50	max. 0,30 max. 1,3 %W	0,035	0,035

Tabulka 3.4 Podmínky tepelného zpracování ocelí

Třída oceli	Žihání (teplota °C/ochl.)	Kalení (teplota °C/ochl.)	Popouštění (teplota °C/ochl.)
12 090	*790-820, vzduch 680-720, pec	780-810, olej	nad. 400 °C, vzduch
19 222	*800, vzduch 680-710, pec	750-780, voda 780-800, olej	100-250 °C, vzduch, voda
19 191	*800, vzduch 680-710, pec	750-780, voda 780-800, olej	100-250 °C, vzduch, voda
19 221	*800, vzduch 680-710, pec	750-780, voda 770-800, olej	100-250 °C, vzduch, voda
19 421	*790-810, vzduch 860-710, pec	750-780, voda 780-800, olej	1050-250 °C, vzduch, voda
19 710	700-740, pec	760-780, voda 800-820, olej	150-250, vzduch

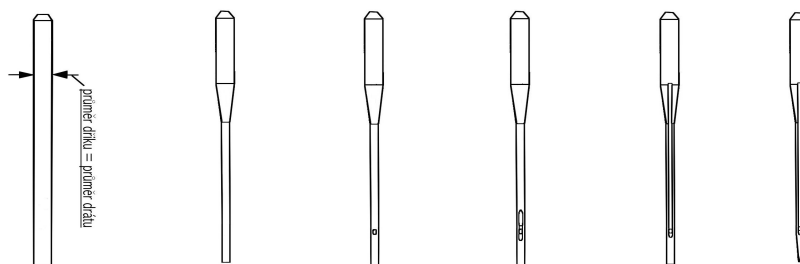
Přesné podmínky tepelného zpracování jehly výrobce též neuvádí.

Ocelový drát potřebného průměru je navinut na cívkách. V současné době se jehly vyrábí tak, že ocelový drát se odvíjí z cívky, následně narovnáva a seká na příslušnou délku vyráběné jehly. Průměr ocelového drátu odpovídá průměru dříku jehly.

Charakteristickým znakem každé jehly je její délka a průměr dříku. Z těchto údajů se také vychází při označování strojních šicích jehel. Dále se průměr dříku zmenšuje, vytváří se příslušný průměr stvolu jehly. Současně se vytváří přechodový kužel a u odstupňované jehly i přechodová část. Po zhotovení stvolu jehly se lisuje ouško



jehly a vybrání nad ouškem. V další fázi se vytvoří dlouhé a krátké drážky. Nakonec se vybrousí špiče a hrot jehly viz obr. 3-1.

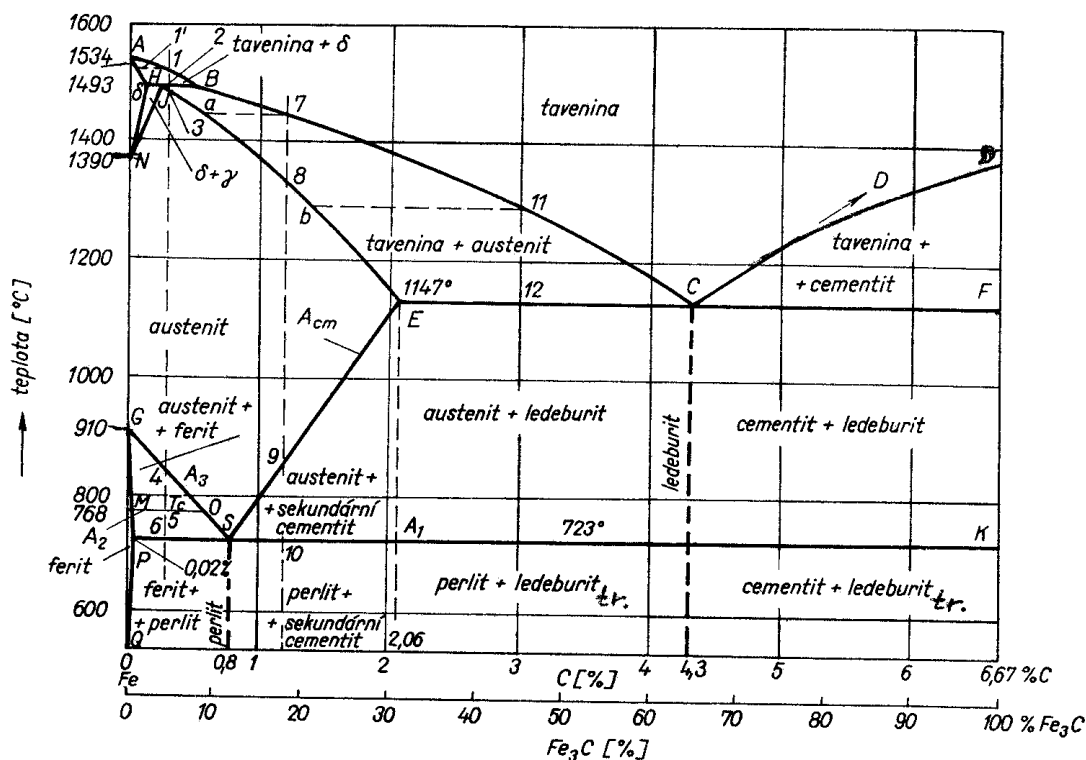


Obr. 3-1 Schéma postupu výroby strojní šicí jehly

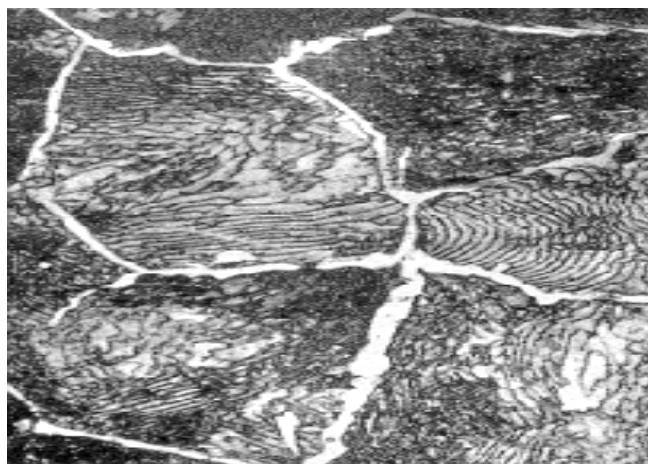
Pak následuje tepelné zpracování jehly, které se provádí za účelem docílení vhodné struktury. Struktura je nositelem požadovaných vlastností jehly (tvrdosti, otěruvzdornosti i houževnatosti) [7].

Tepelné zpracování se skládá ze tří částí (žhánání na měkko, kalení a popuštění). Výchozí struktura nadeutektoidní oceli je tvořena perlitem a sekundárním (II.) cementitem, jak je patrné z rovnovážného metastabilního diagramu Fe-C, viz obr. 3-2.

Na obr. 3-3 je uvedena struktura nadeutektoidní oceli s obsahem uhlíku 1,2 %, která je tvořena perlitem a sekundárním cementitem a odpovídá v diagramu na obr. 3-2 teplotě pod  $A_1$  (723 °C) a obsahu uhlíku od 0,8 do 2,06 %, [22].



Obr. 3-2 Rovnovážený binární diagram Fe-C metastabilní [22]



Nital

1000 x

Obr. 3-3 Struktura nadeutektoidní oceli: perlitu a II. cementitu [22]

Tepelné zpracování nadeutektoidních ocelí:

#### 1. Žihání

Žihání se u nadeutektoidních ocelí provádí především za účelem rozpuštění II. cementitu a získání vhodné (především homogenní) struktury pro následné kalení.

Celý proces žihání se skládá ze tří fází (ohřev oceli v peci na určitou teplotu, výdrž na této teplotě dle potřeby a pomalé ochlazování). Jehla se ohřívá na teplotu 800 °C, tím se přemění perlit, který tvoří spolu s II. cementitem výchozí strukturu oceli, na austenit. Perlit, jak je obecně známo, je směs feritu a II. cementitu. Austenit je tuhý intersticiální roztok uhlíku v železe  $\gamma$ . Po přeměně perlitu v austenit následuje rozpouštění sekundárního cementitu v austenit a to do teploty 800 °C. Výdrž na žíhací teplotě 800 °C bývá obvykle cca 2 až 4 hod. Ochlazování z žíhací teploty se děje ve vypnuté peci. Výsledkem tohoto způsobu žihání je získání jemných zrnitých karbidů, které umožňují při ohřevu oceli na kalící teplotu velmi rovnoměrné nasycení austenitu uhlíkem i karbidotvornými přísadami, [22].

#### 2. Kalení se zmrazováním

Po žihání následuje martenzitické kalení. Účelem kalení je získání vysoké tvrdosti jehly a její odolnosti proti opotřebení. Kalení však není konečnou operací tepelného zpracování. Po kalení musí následovat popouštění. Proces kalení se též skládá ze tří fází (ohřev, výdrž na austenitizační teplotě a rychlé ochlazení). Materiál jehly, resp. ocel nadeutektoidního složení se ohřeje na austenitizační teplotu. Ta je cca 30 až 50 °C nad  $Ac_1$ , kde je struktura austenitu a II. cementitu (nikoli nad křivku  $Ac_m$ ). Ohřev

do oblasti austenitu by způsobil zhrubnutí austenitického zrna. Výdrž na této teplotě závisí na proběhnutí austenitizace. Pak následuje rychlé ochlazování. Jehla se prudce zchladí v kalícím médiu na pokojovou teplotu. Ve struktuře správně zakalené ocelové jehly je v martenzitické struktuře nerozpuštěný nadeutektoidní karbid (II. cementit). Tento karbid v zakalené struktuře nepůsobí nepříznivě, naopak zlepšuje odolnost jehly proti opotřebení. Obecně je však známo, že nadeutektoidní oceli jsou náchylné na správné dodržení kalicí teploty, ale i na přípravu vhodné výchozí struktury před kalením.

Vznik martenzitu při kalení probíhá podle zásad martenzitické přeměny. Martenzitická přeměna začíná při teplotě  $M_s$  a končí při teplotě  $M_f$ . S rostoucím obsahem uhlíku klesá poloha bodů teplot  $M_s$  a  $M_f$ . Při obsahu 1,2% uhlíku  $M_s = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $M_f = -150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Martenzit je definován jako přesycený (nestabilní) tuhý roztok uhlíku v železe  $\alpha$ . Martenzit vzniká bezdifúzní přeměnou, neboť austenit je tak podchlazen, že nemůže dojít k difúzi uhlíku, který zůstává rozpuštěn ve vytvořeném martenzitu. Martenzit je tvořen prostorově středěnou tetragonální mřížkou. Vedle martenzitické struktury se ve struktuře zakalené jehly objevuje i určitý podíl zbytkového austenitu a nerozpuštěný sekundární cementit.

Princip zmrazování závisí na tom, že po zakalení se ocel dále musí podchladiť, neboť je-li ponechána delší dobu na normální teplotě, nastává stabilizace austenitu. Zmrazování se uplatňuje u ocelí u nichž po kalení zůstalo ve struktuře značné množství zbytkového austenitu (to je u ocelí, které mají teplotu  $M_f$  níže než je  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Pro průmyslové využití zmrazování je nutné speciální chladicí zařízení, které je schopno zajistit teplotu  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Použití směsi suchého ledu s lihem nebo acetonem dává možnost získání teploty  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tekutého kyslíku do  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$  a tekutého vzduchu do  $-192\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jak uvádí ČERNOCH [3].

To se u zakalené jehly pro strojové šití realizuje tak, že martenziticky zakalený předmět se přenesení v co nejkratší době do prostředí s teplotou pod bodem mrazu, podle možnosti výše uvedeného chladicího média. Snížení podílu zbytkového austenitu ve struktuře se docílí stabilita rozměrů jehly, [22].

### 3. Popouštění

Popouštění následuje ihned po kalení se zmrazením. Jeho cílem je získání stabilnějšího stavu kalené jehly se současně získanou vysokou tvrdostí

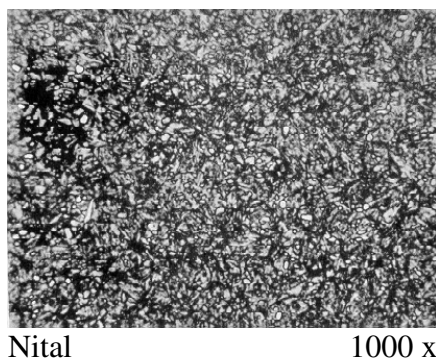
a otěruvzdorností. Proto jsou jehly popouštěny při nízkých teplotách asi 220 °C. Tato teplota se dosáhne např. při ohřevu v peci, ohřívání horkého oleje nebo vyhřátím kovové desky.

Ze strukturního hlediska je ocel před popuštěním tvořena tetragonálním martenzitem, II. cementitem a zbytkovým austenitem., jehož podíl se snížil zmrazováním. Při ohřátí ocele s touto strukturou na teplotu popouštění 220°C dochází nejdříve při teplotě cca 150 °C k rozpadu martenzitu s tetragonální strukturou za vzniku přechodového karbidu, tzv.  $\epsilon$ -karbidu ( $\text{Fe}_{2,4}\text{C}$ ) a kubického (nizkokouhlíkového martenzitu). Vznik nizkokouhlíkového martenzitu je provázen snížením tvrdosti. Množství zbytkového austenitu v této fázi ohřevu zůstává zachováno. Při teplotě nad 160 °C začíná docházet k rozpadu zbytkového austenitu. Tento rozpad probíhá intenzivně při teplotě cca 250 °C podobným mechanismem jako je tzv. bainitická přeměna. Výsledkem popouštění je snížení úrovně vnitřního pnutí, zvýšení houževnatosti, stabilizace rozměrů při zachování vysoké tvrdosti.

Výslednou mikrostrukturu jehel tvoří velmi jemný martenzit a drobná zrnka rovnoměrně vyloučených karbidů.

Po tepelném zpracování jehly se provádí leštění, hlavně ouška šicí jehly. Na jehly se nanáší v konečné fázi povrchová úprava pro zvýšení odolnosti jehly proti opotřebení (niklování, chromování, případně chemické úpravy).

Na obr. 3-4 je uvedena struktura po kalení a popouštění oceli s 1,2 % C, [22].



Obr. 3-4 Struktura velmi jemného martenzitu, zbytkového austenitu a sekundárního cementitu, [22].

## 4. CHARAKTERISTIKA POVRCHOVÝCH ÚPRAV KOVOVÝCH SOUČÁSTÍ

Pro zvýšení užitných vlastností strojních šicích jehel se na povrchu záměrně vytvářejí povlaky. Povlak spolu se základním materiálem může být namáhán vnějšími mechanickými silami, pnutím, teplotními změnami i okolním prostředím a ke změně funkce povlaků může dojít vznikem trhlin, odloupenutím povlaku nebo jeho části. Odolnost povlaku proti porušení je určován především jeho typem a složením. Rozhodující také mohou být i ostatní charakteristiky, zejména tloušťka, struktura, velikost pnutí, jakost spojení (adheze) se základním materiálem a způsob namáhání jehly i povlaku. [32]

Pokud se jedná o jehly, což je předmětem obsahu této doktorské práce, jedná se o tenké vrstvy k jejichž vytváření je především důležitá adhezně kohezní vlastnost.

### 4.1 Adhezně kohezní chování systémů tenká vrstva - substrát

Jedním z důležitých parametrů vrstvy, charakterizující vlastnosti celého systému, je dobrá koheze a adheze vrstvy. Koheze (soudržnost) je jev vznikající působením přitažlivých sil mezi částicemi dané látky a adheze (přilnavost) je jev vznikající působením přitažlivých sil mezi částicemi povrchových vrstev dvou stýkajících se různých látek.

Na rozhraní substrát - vrstva působí pět hlavních mechanismů adheze:

- a) adsorpce a smáčení
- b) vzájemná difúze (autoheze)
- c) elektrostatická přitažlivost, Van der Waalsova vazba
- d) chemická vazba
- e) mechanická adheze

Tyto mechanismy působí izolovaně nebo společně.

Mechanické spojení je v zásadě ovlivněno geometrií povrchu a vhodnou deformovatelností nanášeného povlaku (zakotvení - vyplnění nerovnoměrností povrchu). I když velikost sil mechanického zakotvení je řádově v MPa, tzn. poměrně nízká, v některých případech zajišťuje až 99 % pevnosti spoje. Pro síly chemického působení při vytváření povlaků musí být vytvořeny vhodné energetické podmínky, mohou zde vznikat vazby iontové, kovalentní, kovové, které jsou krátkého dosahu, [32].

Dokonalá vazba vrstvy k substrátu však nestačí k zajištění dobré adheze. Na rozhraní substrát - vrstva mohou vznikat silná smyková napětí. Příčinou jsou rozdílné moduly pružnosti a rozdílné koeficienty teplotní roztažnosti substrátu a vrstvy a vnitřní makropnutí vznikající ve vrstvě během jejího vytváření. Pokud smyková napětí dosáhnou kritické hodnoty, Van der Waalsova vazba tato smyková napětí neunes. Také důležitý je rozdíl, který je mezi tzv. základní adhezí BA (basic adhesion), což je největší možná dosažitelná hodnota a tzv. experimentální neboli praktickou adhezí EA (practical adhesion), která je definována buď vazebními nebo adhezními silami. Vztah mezi experimentálně měřenou adhezí EA a základní adhezí BA je dán vztahem:

$$EA = f(BA, \text{další faktory}) \quad (4.1)$$

Takže  $EA < BA$ . Ve skutečnosti, ale vlivem dalších faktorů platí  $EA \ll BA$ . Mezi tyto další faktory patří vnitřní napětí ve vrstvě, dutiny na rozhraní vrstva - substrát a technika užívaná k měření adheze. Pro hodnocení adheze je rozhodující energie nutná k porušení vazeb na rozhraní vrstva - substrát. Metody stanovení adheze vrstev jsou proto založeny na vytvoření definovaného napětí na rozhraní a stanovení kritické hodnoty, při níž dochází k porušení rozhraní a odloupení části vrstvy, [32].

#### A) Adsorpce a smáčení

**Adsorpce** je jedním z nejdůležitějších jevů probíhajících na fázovém rozhraní z hlediska migrace prvků. Adsorpce je poutání určitých složek z roztoku na povrch koloidní fáze. Rozlišujeme fyzikální adsorpci, při níž je látka poutána pouze silami van der Waalsovými a chemickou adsorpci. Chemická adsorpce je v geochemii mnohem důležitější. Dochází při ní k tvorbě chemických vazeb mezi adsorbentem a adsorbovanou látkou. Kvantitativně můžeme adsorpci popsat pomocí vztahu nazývaného podle autora - Langmuirova izoterma. [32]

Langmuier modeluje povrch adsorbentu jako inertní s konečným počtem adsorpčních center, která jsou všechna stejná a adsorpční teplo, které se při adsorpcích uvolňuje není závislé na adsorbovaném množství „a“. Z tohoto modelu odvodil rovnici [32]:

$$a = \frac{a_{\max} \cdot K_L C}{1 + K_L C} \quad (4.2)$$

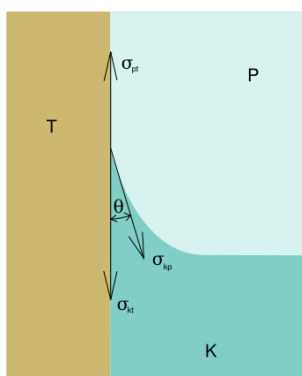
kde značí:  $a$  - adsorbované množství na jednotku adsorbentu;  
 $a_{\max}$  - maximální absorbované množství;  
 $K_L$  - rovnovážná konstanta mezi adsorpcí a desorpcí;  
 $C$  - koncentrace  $C$ .

**Smáčení** je vlastnost kapaliny přilnout k povrchu některých pevných látek tzv. schopnost kapaliny smáčet určitou látku.

Na okraji kapaliny dochází ve skutečnosti ke styku tří prostředí a to kapaliny (K), plynu např. vzduch (P) a povrchu pevného tělesa (T) viz obr.4-1. Na tomto rozhraní působí povrchová napětí  $\sigma_{kt}$ ,  $\sigma_{kp}$ ,  $\sigma_{pt}$ . Má-li být kraj kapaliny v klidu, pak musí být všechny působící síly  $\sigma$  v rovnováze. Z obr.4-1 vyplývá, že musí tedy platit:

$$\sigma_{kt} + \sigma_{kp} \cos \theta - \sigma_{pt} = 0 \quad (4.3)$$

kde značí:  $\sigma_{kt}$  - povrchové napětí mezi kapalinou a tuhou látkou;  
 $\sigma_{kp}$  - povrchové napětí mezi kapalinou a plynem;  
 $\sigma_{pt}$  - povrchové napětí mezi plynem a tuhou látkou;  
 $\theta$  - krajový úhel.

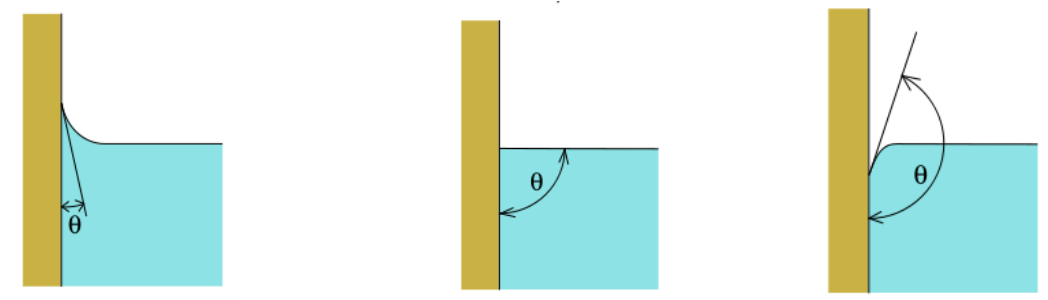


Obr. 4-1 Schéma povrchového napětí na okraji kapaliny, [32]

Krajový úhel je úhel, který svírá okraj kapaliny s povrchem tuhé látky, viz obr. 4-2.

Ze vztahu 4.3 dostaneme pro velikost krajového úhlu vztah:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{pt} - \sigma_{kt}}{\sigma_{kp}} \quad (4.4)$$



Obr. 4-2 Schéma různých případů okrajového úhlu, [32]

Velikost krajového úhlu je tedy závislá na rozdílu povrchového napětí tuhého tělesa k plynu a tuhého tělesa ke kapalině. Tento rozdíl se také nazývá *adhezní konstanta*. [32]

#### B) Vzájemná difúze (autoheze)

Difúze je proces rozptylování se částic v prostoru. Veškeré látky mají tendenci přecházet z prostředí se svou vyšší koncentrací do prostředí s nižší koncentrací.

Pevnost difúzní vazby ovlivňuje počet difúzních molekul, konformace difúzních molekul, snadnost molekulového pohybu, zapleteniny a rychlost difúze je dána látkovým množstvím látky, která projde za časovou jednotku určitou plochou.

Difúze se řídí Fickovými zákony. První Fickův zákon popisuje difúzní tok rozpuštěné látky v ustáleném stavu viz vztah (4.5) a druhý Fickův zákon říká, že rychlost difúze je dána takovým množstvím látky, které projde za časovou jednotku určitou plochou viz vztah (4.8).

#### **Difúzní tok**

$$J = -D\nabla(c) \quad (4.5)$$

kde značí: J - hustotu toku;  
 $\nabla(c)$  - gradient koncetrace;  
 D - difúzní koeficient.

Gradient, viz obr. 4-3, je diferenciální operátor, jehož výsledkem je vektorové pole vyjadřující směr a velikost největší změny skalárního pole. Pro zápis se používá operátor nabla  $\nabla$ .

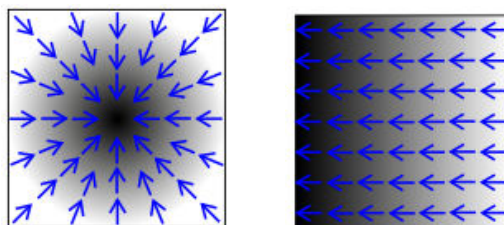


Pro trojrozměrné pole je gradient složen z jednotlivých parciálních derivací funkce vyjadřující dané skalární pole, viz vztah (4.6), a pro n-rozměrný prostor lze s pomocí Einsteinova sumačního pravidla vyjádřit gradient ve tvaru, viz vztah (4.7):

$$\nabla \phi = \text{grad} \phi = \left( \frac{\partial \phi}{\partial x}, \frac{\partial \phi}{\partial y}, \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \quad (4.6)$$

$$\nabla f = e_i \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (4.7)$$

kde značí:  $x_i$  - souřadnice;  
 $e_i$  - báze vektory.



Obr. 4-3 Ukázka gradientu (modré vektory) pro dvě různé skalární pole (černá představuje vyšší hodnotu skalární funkce) [32]

### Rychlost difúze

$$v_{dif} = -D \frac{dt}{ds} \quad (4.8)$$

kde značí:  $\frac{dt}{ds}$  - koncentrační spád;  
 $D$  - difúzní koeficient.

Na základě hydrodynamické teorie byla pro difúzní koeficient ve zředěných disperzních nenabitých částic odvozena tzv. Einsteinova rovnice:

$$D = \frac{K_B \cdot T}{f} \quad (4.9)$$

kde značí:  $K_B$  - Boltzmanovu konstantu;

T absolutní teplotu;  
f - koeficient tření.

Koeficient tření v kapalném disperzním prostředí pro kulovité částice je dán vztahem (4.10) a pro jednoduché velké nesférické částice je možno odhadnout hodnotu f teoreticky, např. pro zploštělý rotační elipsoid podle vztahu (4.11).

$$f = 6\pi\eta_0 \cdot r \left( \frac{2\eta_0 + r\beta}{3\eta_0 + r \cdot \beta} \right) \quad (4.10)$$

kde značí:  $\eta_0$  - viskozita prostředí;  
r - poloměr částice;  
 $\beta$  - koeficient skluzového tření.

$$f = 6\pi\eta_0 r \frac{a-b}{5b} \quad (4.11)$$

kde značí: a,b - hlavní a vedlejší poloosy. [32]

### C) Elektrická přitažlivost

Elektrický náboj může být kladný nebo záporný. Shodné náboje se odpuzují, zatímco opačné přitahují a to silou, která je definována Coulombovým zákonem. Tato síla  $F$ , jak říká tento zákon, je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti mezi náboji a přímo úměrná součinu jejich nábojů.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (4.12)$$

kde značí:  $\epsilon_0$  - konstantu nazývanou permitivita vakua;  
q - náboj částice;  
r - vzdálenost mezi částicemi.

V této formulaci Coulombova zákona není žádný vztah se zprostředkujícím mechanismem síly přenášené mezi náboji. Síla jednoduše existuje, protože jsou zde

náboje a není zde žádná zmínka o poli, ale je to právě elektrické pole mezi oběma náboji, které sílu popsanou ve vztahu (4.12) přenáší.

Elektromagnetické síly jsou „pojivem“, které drží atomy pohromadě, tj. drží elektrony v blízkosti protonů a vážou atomy dohromady v látkách.

Přitahování záporného a kladného náboje je způsobeno napětím silokřivek, která přenášejí elektromagnetické pole, také odpuzování dvou stejně nabitých nábojů je způsobeno tlakem silokřivek viz obr. 4-4.



Obr. 4-4 Schéma pomyslné krabičky v elektrickém poli - krátké vektory znázorňují směry napětí silokřivek přenášených polem, [32]

Velikost tlaku a tahu silokřivek přenášených elektrickým polem je dán vztahem

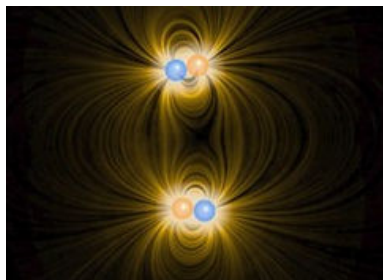
$$p_E = \epsilon_o \cdot E^2 / 2 \quad (4.13)$$

kde  $\epsilon_o \cdot E^2 / 2$  je síla na jednotku plochy (hustota energie uchovaná v elektrickém poli),  $E$  je elektrické pole. Pro elektrické pole platí vztah (4.14).

$$E(x, y, z) = \lim_{q_{test} \rightarrow 0} \frac{F_{test}}{q_{test}} \quad (4.14)$$

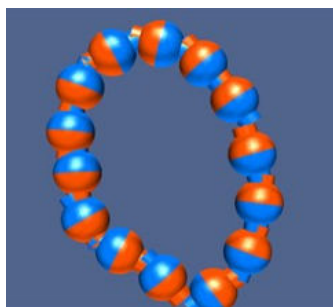
Kde  $F(x, y, z)$  je síla, která působí na náboj a  $q_{test}$  náboj testovací částice.

Látka drží pohromadě interakcí částic Coulombovou silou a aby nedošlo ke zhroucení všech nábojů do jednoho bodu, působí zde tzv. Pauliho síla, která je kvantově mechanického původu a je odpudivá. Tato síla udržuje záporně nabitě částice a kladně nabitě částice od sebe v konečných vzdálenostech, viz obr. 4-5. Navíc je pohyb částic utlumen členem úměrným jejich rychlosti, což jim umožňuje zůstat ve stabilních nebo metastabilních stavech.



Obr. 4-5 Schéma čtyř nábojů s dynamickým útlumem interagujících Coulombovou silou a na blízké vzdálenosti se odpuzují Pauliho silou, [32].

Když se nabité částice začnou vyvíjet z počátečního stavu, náboje se spárují do dipólů. Je to rychlý proces, protože Coulombova síla působící mezi nerovnovážnými náboji je velmi velká. Tento proces se nazývá iontová vazba, ačkoliv v principu může být dipól - dipólová interakce jak přitažlivá tak i odpuzivá, ve skutečnosti zde existují točité momenty, které otočí dipól tak, že dipól - dipólová síla je přitažlivá, viz obr.4-6. Po delším čase převede tato dipól - dipólová interakce oba dipóly do vázaného stavu. Přitažlivá síla, která působí na oba dipóly, se nazývá van der Waalsova síla a je zodpovědná za mezimolekulární síly, které k sobě vážou sloučeniny v pevných látkách.



Obr. 4-6 Schéma vytvořené vázané struktury přitahujících se dipólů [32]

#### D) Chemická vazba

Chemické vazby jsou soudržné síly poutající navzájem sloučené atomy v molekulách a krystalech. Podle kvantově mechanického výkladu chemické vazby dochází při těsném přiblížení slučujících se atomů ke změnám rozložení elektronové hustoty, jejichž výsledkem je stálejší uspořádání atomových jader a elektronů.

Aby mohla vzniknout chemická vazba musí být splněny podmínky rovnováhy a stability.

**Podmínky rovnováhy**

Výslednice sil působících na každý atom v molekule při podmínce rovnováhy je nulová:

$$\vec{F}_i = \nabla_{\vec{R}} U^{(n)} \quad (4.15)$$

$$\vec{F}_i = \vec{0}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.16)$$

kde značí:  $\vec{F}_i$  - odpudivé a přitažlivé síly.

$$dU^{(n)} = 0 \quad (4.17)$$

kde značí:  $U^{(n)}(\vec{R}_1, \vec{R}_2, \dots, \vec{R}_n)$  - interakční energii (potenciál) systému n atomů

Pro potenciál  $U(R)$  dostaneme vztah

$$\left. \frac{dU}{dR} \right|_{R=R_0} = 0 \quad (4.18)$$

kde značí:  $\vec{R}_i$  - polohové vektory;

$R_0$  - délku vazby (meziatomová vzdálenost).

**Podmínky stability**

Systém musí mít pro rovnovážné polohy jader atomů minimální energii, tzn. interakční energie  $U^{(n)}$  musí mít pro konfiguraci  $(\vec{R}_{1,0}, \vec{R}_{2,0}, \dots, \vec{R}_{n,0})$  splňující podmínku rovnováhy lokální minimum.

Pro potenciál  $U(R)$  stačí

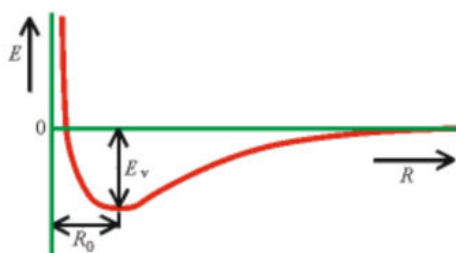
$$\left. \frac{d^2U}{dR^2} \right|_{R \rightarrow R_0} \geq 0 \quad (4.19)$$

Pro podmínku stability je důležitá hodnota vazební energie nebo též disociační energie vazby  $E_v$ .

$$E_v = U(R_0) \quad (4.20)$$

Disociační energie udává energii, kterou je třeba vynaložit na rozštěpení dané vazby tzn. molekula přestává být stabilní a dělí se na menší složky.

Vzdálenost  $R_0$  představuje délku vazby v dvouatomové molekule a  $E_v$  její vazebnou energii.



Obr. 4-7 Závislost interakční energie (potenciálu) dvou atomů na jejich vzdálenosti, [32]

#### a) Vazba iontová

Ke vzniku iontové vazby dochází mezi atomy, jejichž rozdíl elektronegativit je větší než 1,7; tj. vazba mezi prvky umístěnými v periodické soustavě daleko od sebe. Je to extrémní případ polární kovalentní vazby. Sdílené elektrony jsou v obalu elektronegativnějšího atomu. V podstatě došlo ke vzniku aniontu a kationtu, které jsou vzájemně poutány elektrostatickou silou.

Iontová sloučenina není tvořena molekulami, ale anionty a kationty, které se vzájemně přitahují a vytvářejí prostorové iontové mřížky. Iontové sloučeniny se vyznačují vysokou teplotou tání a varu. Vazby jsou pevné, k rozštěpení je třeba velké množství energie. Ve vodním roztoku vedou elektrický proud.

#### b) Vazba kovalentní

Vznik kovalentních vazeb je možno vysvětlit přechodem elektronů atomových do vazeb molekulových orbitů.

Kovalentní vazba je založena na sdílení elektronů mezi vázanými atomy. Elektrony jsou společné oběma jádrům a nelze je od sebe lišit.

Podle sdílených elektronů rozlišujeme kovalentní vazbu jednoduchou, dvojnou a trojnou. Kovalentní vazby mezi atomy jsou pevné, nevedou elektrický proud, mají nízké teploty tání a varu.

V molekulách tvořených dvěma kovalentně vázanými atomy s různou elektronegativitou je na straně atomu s větší elektronegativitou záporný náboj, u atomu s menší elektronegativitou náboj kladný. Molekula má tedy kladný i záporný pól a vytváří tak dipól. Kovalentní vazba může být tedy polární.

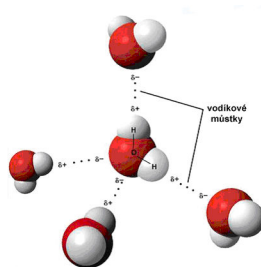
c) Kovové vazby

Elektrony vytvářející kovovou vazbu jsou sdíleny velkým množstvím jader. Atomy kovů se vyznačují malým počtem elektronů ve vnější vrstvě, většinou mají jen jeden nebo dva elektrony v orbitu. Tyto vnější valenční elektrony vytvářejí v poli pravidelně rozmístěných jader obklopených elektrony vnitřních vrstev jediný, souvislý a celým prostorem kovového krystalu prostupující elektronový obal tzn. těleso kovu vytváří jedinou obrovskou molekulu, ve které jsou pravidelně rozmístěny kationty, mezi kterými se volně pohybují vazné elektrony. Elektrostatické přitažlivé síly působí mezi těmito kationty a souvislým elektronovým obalem jsou pak podstatou, kterou nazýváme vazba kovová.

Mírou schopnosti přitahovat sdílené elektrony je relativní veličina tzv. elektronegativita. Elektronegativita prvků se pohybuje od 0,9 do 4,1. Prvky s vysokou elektronegativitou jsou nekovy, prvky s nízkou elektronegativitou jsou alkalické kovy. Již z těchto údajů je patrné, že elektronegativita prvků souvisí s jejich kovovým a nekovovým charakterem, [32].

d) Vodíkové vazby

Intermolekulární nebo intramolekulární interakce, k níž dochází sdílením vodíkových atomů. Vodíková vazba  $A-H \cdots B$  vzniká obvykle tehdy, je-li atom vodíku vázaný silně elektronegativním atomem A a atom B má volný elektronový pár. Vysoká elektronegativita atomu A způsobí posun elektronů směrem k A, takže na atomu H vzniká částečný kladný náboj, který může být přitahován záporným nábojem volného elektronového páru atomu B. Vodíkové vazby mohou pospojovat molekuly v trojrozměrné polymerační struktury, s jakými se setkáváme u kapalné vody a ledu a mohou též k sobě poutat molekuly nebo jejich části v jistých zcela určitých seskupeních či orientacích, [32].

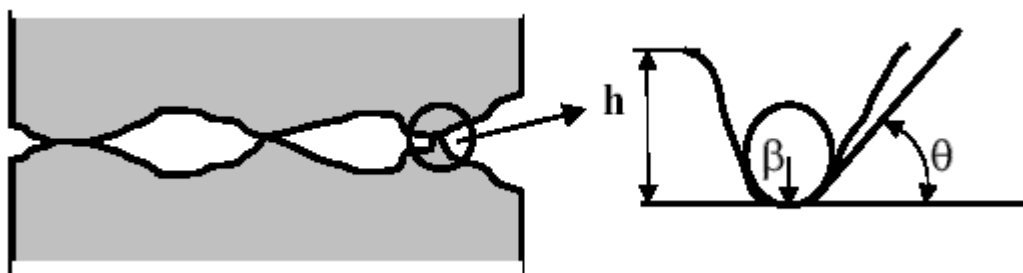


Obr. 4-8 Schéma vodíkové vazby ( můstků) mezi molekulami vody, [32]

## E) Mechanická adheze.

Jde o spojování zapadáním vrstvy do nerovností substrátu ve směru rovnoběžné s rozhraním.

Povrch materiálů je složen z nerovností s jistou distribucí výšek  $f(h)$  viz obr. 4-9, které se deformují plasticky nebo elasticky. Součet ploch kontaktů  $A_R \ll A$ .



Obr. 4-9 Schéma kontaktu na površích ploch, [32]

Pro distribuci výšek (reálná plocha kontaktů)  $f(h)$  platí vztah:

$$f(h) = \frac{1}{\sigma^* \sqrt{2\pi}} \exp \frac{(h - \bar{h})^2}{2\sigma^{*2}} \quad (4.21)$$

kde značí:  $\sigma^*$  - směrodatná odchylka výšky;

$\bar{h}$  - průměrná výška;

$\beta$  - poloměr křivosti nerovností;

$\theta$  - průměrný sklon nerovností;

$\sigma^*/\beta$  - charakteristika drsnosti povrchu.

Pro oddělení povrchů je třeba třecí síla  $F_T$ :

$$F_T = \tau_s \cdot A_R \quad (4.22)$$



kde značí:  $\tau_s$  - smyková pevnost méně pevného materiálu;  
 $A_R$  - součet ploch kontaktů (růst plochy).

Vlivem lokálního tlaku  $p$  dochází k deformaci až do bodu, kdy poklesne tlak na  $p_y$  (tlak na mezi kluzu).

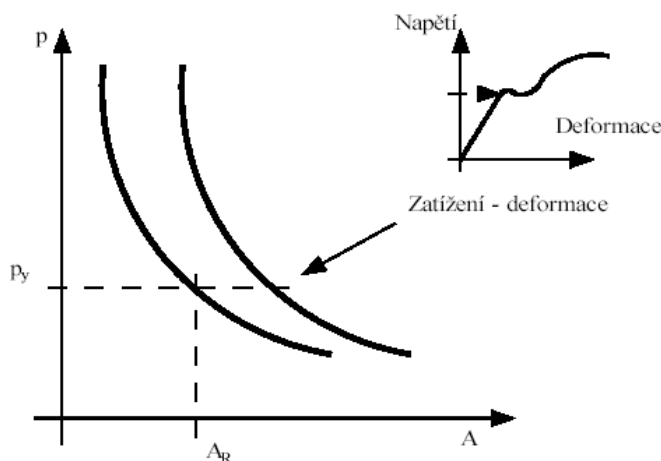
Pro případ rovnováhy platí:

$$p_y = \frac{F_N}{A_R} \Rightarrow A_R = \frac{F_N}{p_y} \quad (4.23)$$

Ze vztahu 4.22 a 4.23 plyne vztah:

$$F_T = \left( \frac{\tau_s}{p_y} \right) \cdot F_N \quad (4.24)$$

kde značí:  $\left( \frac{\tau_s}{p_y} \right) = f$  je koeficient tření.



Obr. 4-10 Pokles napětí na úroveň meze kluzu, [32]

## 4.2 Metody vytváření povrchů a povlaků kovů

Soudobé strojírenství klade stále vyšší nároky na materiály používané k výrobě součástí, tj. objemové vlastnosti materiálu (pevnost, houževnatost, tuhost). Vlastnosti povrchů mají zaručovat např. odolnost proti korozi a to i za vysokých teplot, odolnost proti opotřebení otěrem nebo extrémně nízké hodnoty součinitele tření.

Tyto požadavky, do jisté míry protichůdné, mohou obvykle materiály splňovat výjimečně. Velmi často se k dosažení výše uvedených požadavků používají povlaky kovové nebo nekovové.

*Kovové povlaky* získáme buď namáčením v roztavených kovech, galvanickým pokovováním, nebo stříkáním (tzv. metalizace), [32].

*Nekovové povlaky* mohou být organické (nátěrové hmoty, konzervační prostředky) nebo neorganické (např. keramické smalty).

#### 4.2.1 Kovové povlaky

Pro vytváření kovových povlaků a vrstev se používá řady kovů od velmi ušlechtilých až po kovy méně ušlechtilé. Přes velkou rozmanitost materiálů a používaných technologií je možno uvést řadu obecných vztahů pro mechanismus ochranného působení kovových povlaků. Nejdůležitějším hlediskem pro hodnocení ochranné funkce kovových povlaků je tloušťka a poréznost povlaku. Životnost povlaku je přímo závislá na tloušťce. Není to však jednoduchá závislost, protože korodující povlak se postupně stává poréznějším a tak je nutné brát v úvahu i vliv podkladového materiálu a vliv nestejnorodosti a nehomogenity povlakového kovu.

#### 4.2.2 Chemické a galvanické pokovování kovů

*Chemické pokovování* - je pokovování bez použití elektrického proudu prováděné tzv. chemickým způsobem. Je velmi výhodné vzhledem k menší nákladnosti v porovnání s elektrolytickým pokovováním. Pracovní postupy při chemickém pokovování jsou dosti jednoduché. Vrstva se vytvoří v krátké době, ovšem není možné vytvořit tlusté vrstvy jako při elektrolytické metodě. Podstatou je vylučování ušlechtilejšího kovu na povrchu méně ušlechtilého vlivem rozdílu potenciálů v roztoku nebo vyredukováním kovu z jeho soli příslušným redukčním činidlem. Pokovovací lázeň se nejčastěji skládá ze soli kovu, který má být vyloučen a z redukčního činidla, které redukuje kovovou sůl na kov. Chemicky lze vylučovat povlaky téměř všech kovů. Nevýhodou tohoto typu pokovení je menší vylučovací rychlost a k vyčerpání lázní. Lázně se proto musí regenerovat, což bývá obtížné.

#### a) Chemické niklování

Redukční způsob pokovování. Vzhledem k propracované technologii patří chemické niklování k nejčastějším způsobům chemického pokovování. Niklovací lázně mohou být slabě kyselé nebo slabě alkalické. Kyselé lázně jsou více rozšířené, alkalické se používají pro niklování hliníku.

Hlavními složkami niklovacích lázní jsou:

- nikelnaté ionty – zdroj iontů  $\text{Ni}^{2+}$  bývají nikelnaté soli;
- redukční činidlo – slouží k redukci nikelnatých iontů na kovový nikl;
- komplexotvorné činidlo – udržení pH a niklu ve formě komplexu a zabraňuje srážení fosforitanu nikelnatého;
- urychlovače – zvyšují vylučovací schopnost aktivací fosfornanových iontů;
- stabilizátory – zabraňují vylučování niklu na mechanických nečistotách v lázni.

Vyloučený povlak není čistý nikl, ale složitá sloučenina především niklu a fosforu. Povlak má dokonalou přilnavost k základnímu materiálu a jeho odolnost proti korozi je větší než u povlaků vyloučených galvanicky. Tvrdost vzniklých povlaků je možno zvýšit tepelným zpracováním až na 1200HV, [32].

#### b) Chemické chromování

Je výhodné, protože vyloučený povlak je i u členěných předmětu rovnoměrný. Vzniklý povlak je pružný a neodloupává se. Rychlost vylučování je poměrně malá. Chemické vylučování chromu na železe je někdy obtížné, proto se předmět slabě poměďuje. Lázně na chromování jsou patentovány nebo jinak chráněny a jejich složení je mnohdy obtížné analyzovat, [32].

***Galvanické pokovování*** - metoda nanášení kovových povlaků ve speciálních lázních pomocí elektrického proudu je v technické praxi nejrozšířenějším způsobem provádění povrchových úprav.

Galvanické lázně se připravují tak, že se v dostatečném množství vody rozpustí receptem předepsané látky. Základem elektrolytického vylučování kovů je dostatečně výkonný zdroj stejnosměrného proudu. Pro galvanické účely se používá nízké napětí, v rozmezí 2 - 12 V, a poměrně velký proud (100 a více ampérů). Elektrický proud

se reguluje rezistory zapojenými v přívodu elektrického proudu. Potřebná kyselost nebo alkalita lázní se kontroluje měřením pH. Vlastní vylučování kovových povlaků probíhá ve speciálních lázních v nejrůznějších nádobách (vanách) např. skleněné, porcelánové vany a vany z ocelového plechu, které mají různé vyložení (novodur, pryž, olovo, sklo, smalt), [32].

#### a) Galvanické niklování

Galvanické niklování je nejstarší způsob pokovování. Niklových povlaků se používá jako konečných nebo mezipovlaků při chromování. Ocelové předměty lze niklovat přímo na základní materiál.

Niklové povlaky se používají buď jako antikorozní ochrana nebo pro ozdobné účely. Povlaky vyloučené z běžných niklovacích lázní jsou matné až pololesklé. Proto byl vyvinut nový typ lázní pro tzv. lesklé niklování, takže niklové povlaky vzniklé v takových lázních není třeba upravovat dodatečným leštěním, [32].

Doporučené tloušťky niklových povlaků se pohybují v rozmezí 10 až 40  $\mu\text{m}$ . Povlaky niklu se používají ke zvýšení tvrdosti, odolnosti proti otěru, proti korozi, zlepšení únosnosti apod. Povlaky niklu pro technické účely obvykle obsahují více než 99 % niklu.

Technické požadavky na niklové povlaky jsou dány normami ČSN EN ISO 4526 Kovové povlaky - Elektrolyticky vyloučené povlaky niklu pro technické účely a ČSN EN 12540. Ochrana kovů proti korozi- Elektrolyticky vyloučené povlaky niklu, niklu-chromu, mědi-niklu a mědi-niklu-chrómu, [32].

Pro niklování složitých součástí, jako jsou např. jehly, se používá roztok tzv. lázeň s hloubkovou činností, který se skládá ze síranu nikelnatého, síranu sodného, kyseliny borité a chloridu sodného. Pracovní teplota lázně je 30 - 40 °C, hustota proudu je 1,5 až 2,5 A/dm<sup>2</sup>, hodnota pH je 5,3, [32].

#### b) Galvanické chromování

Elektrolytické nanášení chromu je jedním z nejdůležitějších a nejrozšířenějších druhů pokovování. Vyloučené chromové povlaky mají výjimečné chemické a fyzikální vlastnosti. Především je to velká odolnost proti korozi, a to za normální i zvýšené teploty, dále značná tvrdost s malým součinitelem tření, odolnost proti mechanickému opotřebení a velká odrazivost světla.

Dlouholeté pozorování úprav strojních šicích jehel dokazují, že tvrdochromové jehly předčí téměř vždy poniklované. Pochromované jehly reagují podstatně jinak na teplotu než kalená ocel. Kalená ocelová jehla by při teplotě 240 – 260 °C jevila znaky popouštění, tedy měknutí, kdežto u jehly s povlakem tvrdochrómu k měknutí dochází až při teplotách nad 300 °C. Při delším působení vysokých teplot poskytuje chromový plášť dostatečnou ochranu proti rychlému měknutí jehly. Vysoká tvrdost chrómu zvyšuje podstatně životnost jehly. Obvykle stačí normální tloušťka chrómu (2μm), ale pro jehly vystavené trvalému vysokému tření, se provádí dvojité povrstvení chrómem.

Chromový povlak se chová k podkladovému kovu jako katoda, to dává možnost vzniku elektrochemické koroze. Z tohoto důvodu je výhodné používání mikroporézního a mikrotrhlinkového chromování, které umožňuje místní galvanický článok rozložit do mnoha dílčích galvanických článků a tím se výsledné napětí každého článku mizivě malé a nestačí k rozpouštění podkladové vrstvy, prakticky je zabráněno korozi.

K vytvoření tvrdého chromového povlaku se používá lázeň složená z oxidu chromového a kyseliny sírové. Pracovní teplota lázně je 25 – 65 °C, hustota proudu je 20-100 A/dm<sup>2</sup>.

Existuje řada dalších metod jako např. žárové stříkání, navařování, plátování, nanášení z tavenin atd. .

#### **4.2.3 Chemická depozice z plynné fáze (CVD = chemical vapour deposition)**

Materiál pro povlaky (titan, hliník, uhlík) je do pracovní komory přiváděn již v plynné fázi - TiCl<sub>4</sub>, AlCl<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>. V komoře se kombinovaným účinkem výboje a vysoké teploty součástí tyto plyny rozkládají, reagují s pracovními plyny a vzniklé sloučeniny (TiN, TiC, TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kondenzují na povrchu součástí.

Nevýhodou tohoto povlakování je vysoká teplota potřebná pro rozklad sloučenin (možnost nevratných změn vlastností materiálů), vznik ekologicky závadných vedlejších produktů, omezený rozsah prvků, které mají sloučeniny v plynném skupenství.

Moderní varianta používá vysokofrekvenční buzení výboje, do plynu se zavádí elektromagnetické záření s frekvencemi řádově stejnými, jako jsou užívány v mikrovlnných troubách. [32]

#### 4.2.4 Fyzikální depozice z plynné fáze (PVD = physical vapour deposition)

Vytváření povlaků přechází z pevné do plynné fáze fyzikálními pochody vypařováním nebo naprašováním. Oba tyto pochody se provádějí za sníženého tlaku, obvykle při tlaku nižším než je 0,1 Pa (tj. řádově milionkrát nižším než je atmosférický tlak). Součásti, na které mají být nanášeny povlaky, se umísťují do blízkosti vypařovacího nebo naprašovacího zařízení tak, aby se atomy nebo molekuly vypařené látky usazovaly na jejich povrchu.

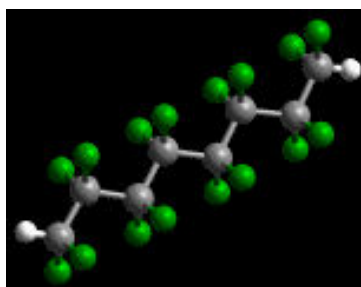
Existuje řada dalších metod jako např. žárové stříkání, navařování, plátování, nanášení z tavenin atd.

#### 4.2.5 Nekovové povlaky

##### *Organické nekovové povlaky - teflon*

Polymerovaný tetrafluoretylen, tj. polytetrafluoretylen (bílá látka voskovitého vzhledu a vynikajících vlastností).

Vynikající vlastnosti teflonu ho předurčují k použití v mnoha oblastech. Je nenasákavý, odolný vůči světlu, stárnutí, křehnutí, jeho mechanické vlastnosti nejsou v širokém rozmezí (20 – 250 °C) téměř závislé na teplotě. Teplota, při které se rozkládá je 360 °C a hoří teprve při 500 – 560 °C (běžným plastickým hmotám dělá potíže vydržet 100 °C). Má vynikající elektroizolační vlastnosti a navíc je biologicky inertní a nemá toxické efekty. Pro tyto vlastnosti se používá k povlakování strojních šicích jehel, [32].



Obr. 4-11 Schéma makromolekuly teflonu, [32]

##### *Neorganické nekovové povlaky - keramické smalty*

Jsou skelné povlaky anorganického původu, natavené většinou na kovovém povrchu.

Smalty jsou používané tam, kde se vyžaduje vysoká chemická odolnost při zvýšené teplotě, odolnosti proti otěru, sklovitá hladkost povrchu, dlouhá životnost při teplotách okolo 700 až 900 °C, pro velmi členité povrchy.

Základní smalt je určený na natavování přímo na kov a slouží na vytvoření mezivrstvy pod funkční povlak.

Krycí smalt se natavuje na vypálený základní povlak a v závislosti od složení povlaku dostává příslušné chemické, fyzikální, mechanické a jiné vlastnosti.

Podle způsobu použití rozdělujeme smalty pro aplikaci:

- a) za mokra ve formě vodních suspenzí;
- b) za sucha ve formě pudrů (na litinu);
- c) ve formě suchých hydrofobizovaných prášků.

Keramické povlaky se nanášejí pomocí plazmového stříkacího zařízení, které umožňuje vytvářet povlaky z materiálů, které zatím nebylo možné jinak nanášet - jedná se o těžkotavitelné materiály, které mají teplotu tavení až 16 000 °C. Pro vysokou teplotu tavení se povlaky z těchto materiálů nazývají *kovokeramické*.

Vlastní plazmová pistol se skládá z katodové části tvořené stabilizačním kanálem s tyčovou grafitovou elektrodou a z části anodové, která nese kovovou rotační anodu. Stabilizační kanál se skládá ze systému clon, který zajišťuje hydraulickou stabilitu kapalinového víru obklopujícího trup elektrického oblouku mezi grafitovou katodou a rotační anodou, [32].

## 5. METODY HODNOCENÍ POVRCHOVÝCH ÚPRAV

Základním měřítkem kvality povlaku je jeho schopnost zajistit životnost strojírenského výrobku tzv. ekonomickou životnost. Užitná hodnota strojírenských výrobků je ovlivněna tím, zda funkčnost, životnost a korozní odolnost povlaku odpovídá předpokládaným požadavkům. Na základě kontroly se hodnotí splnění nároků na jakost povlaku. Sledují se tyto parametry povlakovaných systémů:

- a) vzhledové vlastnosti
- b) funkční vlastnosti
- c) ochranné vlastnosti

### 5.1 Vzhledové vlastnosti

Vzhledové vlastnosti tvoří řadu vizuálních charakteristik povrchu jako jsou celkový vzhled povrchu, barva a lesk. Tyto vlastnosti jsou jednou z charakteristik hodnocení korozního napadení, popř. opotřebení povrchu. Celkový vzhled a lesk se nejčastěji posuzují vizuální kontrolou. Hodnocení barvy vychází z mezinárodně normalizovaného trichromatického systému X,Y,Z - fotometrické trichromatické kolorimetrie, spektrofotometrie, [32].

#### 5.1.1 Funkční vlastnosti

Kontrola funkčních vlastností povlakovaných systémů má specifický charakter, protože vlastnosti povlaků se liší od struktury a složení základních materiálů. Tyto vlastnosti u strojírenských výrobků patří k nejzákladnějším parametrům jakosti. Z funkčních vlastností se sledují především :

- a) přilnavost;
- b) drsnost;
- c) tvrdost, pevnost, tažnost;
- d) odolnost proti otěru;
- e) vnitřní pnutí;
- f) složení a struktura povlaku;
- g) nasákivost;
- h) elektrické vlastnosti, [32].



---

### *PŘILNAVOST*

Bez pevného zakotvení povlaku na povrchu základního materiálu je vyloučena jeho funkce. Přilnavost povlaku je určována jako souhrn adhezních i mechanických sil, viz kapitola 4.1, vztažených na jednotku plochy, kterými je povlak poután k povrchu. Pro hodnocení přilnavosti se používá řada zkoušek jako např. Mercedes (vnikací) test, Scratch (vrypový) test, pásková zkouška, odtrhávací zkouška, ohybová, smyková a tahová zkouška, difrakce - X paprsky, [32].

### *DRSNOST*

Drsnost můžeme charakterizovat jako odchylku od ideální rovinnosti vzniklou při přípravě povrchu, výrobě součásti, jako důsledek změn vyvolaných vnějšími silami nebo prostředím atd. Drsnost základního materiálu při povrchových úpravách ovlivňuje nejen přilnavost povlaku, ale i jeho ochrannou účinnost a výsledný vzhled. Existuje řada metod hodnocení např. pomocí dotykového profiloměru, metody bezdotykových způsobů snímání povrchu a topografické znázornění měřené plochy, metoda interferenčního mikroskopu, [32].

### *TVRDOST*

Pro funkční povlaky je tvrdost základní kontrolovanou vlastností, se kterou souvisí struktura, pevnost, odolnost proti deformaci a opotřebení i životnost povlaku. Pro měření tvrdosti a mikrotvrdosti kovových i nekovových povlaků se používá nejčastěji Vickersovy vnikací metody a to jak pro měření povrchové tvrdosti i měření mikrotvrdosti jednotlivých fází na metalografickém výbrusu, [32].

### *ODOLNOST PROTI OTĚRU*

Významný faktor vzájemného chování dvou těles pohybujících se po sobě rozdílnými rychlostmi nebo i bez pohybu. Jde tedy o opotřebení povrchu dvou těles v kontaktu. Všechny typy otěrů jsou charakterizovány různým vznikem trhlin a vedou k oddělení částí povrchů mimo oxidačního otěru. Pro posouzení otěru jsou rozhodující hodnoty :

- a) modul pružnosti;
- b) meze úměrnosti;
- c) geometrie povrchu;
- d) koeficient tření  $f$ ;
- e) hodnota  $\tan \delta$ .

---

*VNITŘNÍ PNUTÍ*

Vzniká při jednotlivých technologiích povrchových úprav a může být příčinou odlupování povlaků, praskání povlaků, tvarové deformace výrobku, eventuálně jeho porušení. Velikost vnitřního pnutí necharakterizuje jen druh povrchové úpravy, ale je i ovlivněno pracovními podmínkami tzn. je ukazatelem dějů probíhajících při pokovování. Z hlediska povrchových úprav se obvykle kontrolují vnitřní pnutí I. druhu. Vlastní pnutí povlaků se často liší od hodnot vypočtených. Při tvorbě povlaků hrají roli různí součinitelé teplotní roztažnosti, fázové přeměny, nehomogenní teplotní pole, různost deformací apod.. Velikost pnutí je možno určovat klasickými metodami např. rentgenové tensometrie, měření deformace, měření relaxace pnutí, [32].

*SLOŽENÍ A STRUKTURA POVLAKU*

U kovových anorganických povlaků strukturou rozumíme velikost, tvar, uspořádání jednotlivých fází a u organických povlaků obvykle rozložení a velikost pigmentů v povlaku. V závislosti na technologii povrchové úpravy se může výsledné složení povlaku odlišovat od složení použitého povlakového materiálu. Pro zjištění chemického složení povlaků jsou uplatňovány metody např. vážková metoda, odměrná analýza (titrace), kalorimetrická analýza, fotometrická analýza, spektrální metody, [32].

*NASÁKLIVOST*

Projevuje se bobtnáním, puchýřkováním, změnou fyzikálně chemických a tím i ochranných vlastností povlaků. Nasákavost se určuje jako hmotnostní nebo objemové procento přírůstku hmotnosti povlaku zjištěné za podmínek zkoušky, [32].

*ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI*

Jedná se hlavně o kontrolu měrného i přechodového odporu. Používají se přímá odporová měření při zapojení do různých typů můstků i metody vířivých proudů, [32].

**5.2 Ochranné vlastnosti**

Charakterizují účinnost a odolnost povlaků proti působení vnějších znehodnocujících vlivů. Ochranné vlastnosti jsou ověřovány měřením:

- a) tloušťky;
- b) pórovitosti;
- c) koroze;
- d) opotřebení.

---

### *TLOUŠŤKA POVLAKU*

Tloušťka povlaku představuje základní nepřímý ukazatel očekávané účinnosti provedené ochrany proti působení vlivů vnějšího prostředí. Tloušťka přímo ovlivňuje bariérový efekt povlaku, jeho dokonalou celistvost, pórovitost i další řadu fyzikálně chemických vlastností. Pro měření tloušťky povlaku se používají metody destruktivní jako např. snímací, culometrická, výbrus, kapková nebo metody nedestruktivní např. izotopová, termoelektrická, průrazného napětí, [32].

### *PÓROVITOST*

Stejně jako tloušťka tak i pórovitost povlaku je přímým ukazatelem kvality a účinnosti proti vlivům vnějšího prostředí. Pórovitost je určována jako stupeň nepokrytých, převážně mikroskopických oblastí na podkladovém materiálu, množství dutin v povlaku. Póry jsou z hlediska velikosti :

- a) makroskopické ( $< 100\mu\text{m}$ );
- b) mikroskopické ( $1 - 100\mu\text{m}$ );
- c) submikroskopické ( $0,001 - 0,1\mu\text{m}$ ).

Je vyvinuta řada metod kontroly pórovitosti. Metody možno členit do skupin:

- 1. kvalitativní (vizuální vyhodnocení počtu pórů s místní lokalizací pórů);
- 2. kvantitativní (stanovuje se číslem na zvolené ploše);
- 3. chemické (chemická reakce vyvolá v místech pórů barevné skvrny – kvantitativní a kvalitativní hodnocení pórovitosti);
- 4. fyzikální (uplatňují se fyzikální principy);
- 5. elektrochemické.

### *KOROZE*

Odhad očekávané účinnosti povlaků vyžaduje současnou znalost korozního účinku prostředí a kinetiky znehodnocování povlaku. Korozní zkoušky probíhají v přírodních a provozních podmínkách i v podmínkách laboratorních. Vhodný typ zkoušky se volí v závislosti na cíli zkoušky, obvykle po dohodě mezi výrobcem a uživatelem.

**OPOTŘEBENÍ**

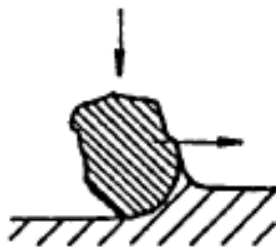
Odolnost proti opotřebení rozhoduje o životnosti povrchové ochrany a tím i životnosti výrobku. Opotřebení je obvykle hodnoceno úbytkem povlaku. Zkoušky opotřebení a zkušební stroje jsou děleny podle sledovaného opotřebení, viz tabulka 5-1.

Tabulka 5.1 Přehled opotřebení povrchové ochrany a její zjišťování, [32].

<b>Opotřebení</b>	<b>Zkoušky opotřebení</b>
Adhezivní opotřebení	Amslerův stroj, Škoda-Savin přístroj, Suzukiho
Abrazivní opotřebení	VÚMT Praha přístroj
Erozní opotřebení	ZVZ Milevsko přístroj
Kavitační opotřebení	zkouška ve Venturiho trubici
Kontaktní únavou	ZVZ Milevsko přístroj

**Abrazivní opotřebení**

Abrazivní opotřebení, viz obr. 5-1, je charakterizováno oddělováním částí povrchů nerovnostmi druhého povrchu nebo tvrdšími částicemi pohybujícími se mezi třecími plochami. Závisí na zatížení, délce kluzné dráhy a tvrdosti podobně jako u adhezivního opotřebení. Nelze opomenout vliv množství, velikosti a tvaru těchto částic. Mechanismus opotřebení je složitější než jsou zjednodušené představy. Gates upozornil na vážný nedostatek klasifikace abrazivního opotřebení, není jednotný přístup ke klasifikaci procesů abrazivního opotřebení. Chruščov a Babičev uvádí čtyři základní mechanismy, které se podílí na výsledném abrazivním opotřebení různou měrou, jež závisí na podmínkách provozního zatěžování a jsou to: opotřebení při tření o upevněné abrazivní částice, opotřebení při tření dvojic s mezivrstvou abraziva, opotřebení při tření v abrazivu a opotřebení abrazivy v kombinaci s rázy. Anglosaská literatura dělí abrazivní opotřebení na tři kategorie, tj. gouging abrasion (rýhovací abraze), high-stress (or grinding) abrasion (vysokonapětová abraze), low-stress (or scratching) abrasion (nízkonapětová abraze). Jiná klasifikace rovněž používá členění abrazivního opotřebení na two-body abrasion (abrazivo - opotřebovaný povrch) a three-body abrasion (abrazivo mezi 2 povrchy).



Obr. 5-1 Schéma abrazivního opotřebení, [14]

Oddělování částic z opotřebovávaného povrchu závisí na úhlu, který svírá hrana abrazivní částice s povrchem. Částice může povrch jen rýhovat a vytvářet podle své dráhy "val", nebo dojde při rýhování ke vzniku "třísky", obdobně jako u obrábění. Rýhovací účinek převládá tehdy, když se abrazivní částice pohybují podél povrchu součastí, přičemž silové působení není výrazné (např. rýpání zemin, broušení apod.). Oddělování materiálů v důsledku únavových pochodů a křehkého lomu v povrchové vrstvě probíhá obvykle vyskytují-li se abrazivní částice mezi funkčními povrchy (např. čelisti drtičů, články pásů).

Nejjednodušší model pro abrazivní opotřebení kovů je případ dvou těles, kdy pevně vázané tvrdé částice nebo nerovnosti povrchu vnikají do povrchu kovu a rýhují ho. Existují dva extrémní případy. V prvním případě dochází k plastické deformaci spojené s rýhováním povrchu, tj. vytváří se valy kolem rýhy, nedochází k otěru. V druhém případě je tvorba rýh spojena s odstraňováním materiálu z povrchu mikrořezáním, tzn. že se netvoří valy po stranách rýhy, ale odstraňuje se celý objem materiálu ve formě třísky. U křehkých materiálů dochází tedy spíše ke křehkým lomům než k plastické deformaci. Převládající mechanismus odstraňování materiálu bude záviset na vlastnostech jednotlivých fází a na jejich objemovém podílu.

Hutchingsův model abrazivního opotřebení je založen na tom, že odstraňování materiálu dochází tvorbou bočních trhlin. Při kluzu ostré částice po povrchu se začne tvořit plastická rýha, boční trhliny se šíří až k volnému povrchu.

Pro abrazivní opotřebení kuželovou nerovností popsal zjednodušený model Rabinowicz. Při pohybu kužele po dráze  $l$  se odstraní objem materiálu

$$dW_0 = r \cdot h \cdot dl = \frac{F \cdot \tan \alpha}{p_m \cdot \pi} dl \quad (5.1)$$

Objemový otěr  $W_0$  je výsledkem působení velkého množství abrazivních částic s různým uhlím  $\alpha$ . Proto platí vztah:

$$W_0 = K_{abr} \cdot \frac{F \cdot l}{p_m} \quad (5.2)$$

kde značí:  $K_{abr}$  - průměr  $\tan \alpha$  všech abrazivních částic.

Kragelskij prokázal, že deformace povrchu materiálu závisí především na poměru  $\frac{h}{R}$ , kde  $h$  je hloubka vniku tvrdého tělesa,  $R$  je poloměr vnikající nerovnosti.

Existují také zjednodušené modely abrazivního opotřebení kompozitů. Tyto modely nedovolují předvídat úlohu mikrostruktury kompozitu a jsou založený na dvou jednoduchých rovnicích. První byla navržena pro dvoufázové kompozity Chruščovem a Babičevem

$$\frac{1}{w_c} = \frac{V_m}{w_m} + \frac{V_v}{w_v} \quad (5.3)$$

kde značí:  $w_c$  - celkový měrný otěr;  
 $V_m, V_v$  - objemové podíly matrice (výztuže);  
 $w_m, w_v$  - měrný otěr matrice (výztuže).

Rovnice je založena na předpokladu, stejné rychlosti opotřebení jednotlivých fází v kompozitu.

Druhou rovnici navrhl Zum Gahr a je založena na principu lineárního pravidla směsí.

$$w_c = V_m \cdot w_m + V_v \cdot w_v \quad (5.4)$$

Omezením existujících modelů abrazivního opotřebení kompozitů je neschopnost předvídat jevy jako je negativní efekt zpevnění, proto Lee a kol. [29] navrhli nový fyzikálně podložený model abrazivního opotřebení pro kompozity s tvrdou výztuží, který je založen na třech základních mechanizmech opotřebení – rýhování, praskání na rozhraní nebo ve výztuži a odstraňování částic. Model zavádí faktor vztažený k lomové houževnatosti rozhraní matrice/výztuž a výztuž a relativní velikost výztuže vůči velikosti abrazivních částic.

Abrazivním opotřebením více fázových kompozitů se zabývali také Axen a Hutchings. Pro vícefázové materiály složené z N-fází platí vztah pro odolnost proti opotřebení:

$$\frac{1}{Q} = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_i}{\Omega_i} \beta_i \quad (5.5)$$

kde značí:  $\alpha_i$  - plošný podíl fáze i na opotřebené ploše;

$\Omega$  - poměrná odolnost proti abrazivnímu opotřebení kompozitu;

$\beta_i$  - tlak na i-fázi ve vztahu k celkové ploše (tlakový koeficient i-fáze),

$$0 \leq \beta_i \leq 1.$$

Opotřebení třecích ploch dvojic s abrazivními částicemi mezi stykovými povrchy je podstatně komplikovanější případ než abrazivní opotřebení způsobené pevně vázanými částicemi abraziva. V tomto případě dochází k opotřebení obou stykových povrchů.

Existují tři případy abrazivního opotřebení funkčních povrchů třecích dvojic, které je vyvolané přítomností tvrdých částic.

1. Abrazivní částice, které projdou neporušené prostorem mezi kontaktními povrchy a vlivem působícího zatížení způsobí opotřebení povrchů. Intenzita opotřebení roste lineárně s rostoucím zatížením.
2. Abrazivní částice se porušují při určité hloubce vniknutí do funkčního povrchu. Porušování částic probíhá až do mezní velikosti  $d_{dr}$ . Lineární závislost otěru na zatížení se mění na mírně klesající závislost.
3. Abrazivní částice se porušují do okamžiku, kdy jejich rozměry dosáhnou hodnoty  $\delta' + \Delta'$  (součet velikostí nerovností povrchu a tloušťky mazací vrstvy) a pak projdou oblastí kontaktu.

Důležitý vliv mají tvrdosti obou kontaktních povrchů. Velmi intenzivní oťěr může nastat, když povrch jednoho členu třecí dvojice je podstatně měkčí než povrch druhého členu třecí dvojice. V tomto případě se abrazivní částice zakotví do měkčího povrchu a rýhují tvrdší povrch.

Na abrazivní opotřebení má vliv několik faktorů:

- **Abrazivní částice** - podle Larsen - Badseho působí tyto částice na povrch kovového materiálu třemi způsoby - vytvářením nárůstku před zrnem,

rýhováním a vytvářením valu podél rýhy, vytvářením třísky před břitem abrazivního zrna.

- **Poměr tvrdostí abraziva a opotřebovaného materiálu** - obecně platí, že otěr opotřebovaného materiálu je úměrný přítlakové síle a délce dráhy, na které dochází k působení abraziva a nepřímo úměrný tvrdosti opotřebovaného materiálu. Nathan a Jones na podkladě svých experimentů odvodily pro závislost objemového abrazivního otěru  $W_o$  na poměru tvrdostí abraziva a opotřebovaného materiálu vztah:

$$W_o = K_1 \cdot \log \frac{H_a}{H_m} \quad (5.6)$$

kde značí:  $H_a$  - efektivní tvrdost abraziva;  
 $H_m$  - tvrdost zkoušeného kovu;  
 $K_1$  - konstanta závislá na zkušebních podmínkách.

a Chruščov získal lineární závislost mezi poměrnou odolností proti abrazivnímu opotřebování  $\psi_a$  a tvrdostí zkoušeného materiálu  $H_m$ :

$$\psi_a = f(H_m) \quad (5.7)$$

- **Tvar abrazivních částí** - tvar se převážně hodnotí pouze kvalitativně na podkladě vizuálního posouzení. Částice se označují jako zaoblené, částečně hranaté nebo hranaté. Ke kvantitativnímu hodnocení hranosti částic se stanovuje jejich ostrohranosti.
- **Velikost abrazivních částic** - abrazivní otěr je závislý na průměrné velikosti abrazivních částic. Existuje „kritická velikost abrazivních částic“, po dosažení této kritické velikosti částic intenzita abrazivního otěru výrazně klesá. Tato kritická velikost je závislá na zatížení, rozměrech opotřebované plochy, typu použitých abrazivních částic a vlastnostech opotřebovávaného materiálu. Většinou se pohybuje v mezích 10-50  $\mu\text{m}$ .

Vliv velikosti abrazivních částic byl zkoumán řadou autorů a byly nalezeny tři různá stadia rychlosti opotřebování jako funkce velikosti abrazivních částic. V první oblasti je velmi malé poměrné opotřebování. V druhém stadiu s dalším růstem velikosti částic rychlost opotřebování prudce roste. V třetím stadiu je rychlost opotřebování nezávislá na průměru částic nebo jen mírně roste.



- **Mineralogické vlastnosti abrazivních částic** - schopnost brusných částic opotřebovávat funkční povrch kovového materiálu (abrazivita). Abrazivita závisí na tvrdosti, velikosti a štěpitelnosti částic. Štěpitelnost vyjadřuje schopnost jednotlivých zrn rozrušovat se vlivem působícího zatížení a vytvářet nové řezné hrany.
- **Zatížení** - platí obecný vztah Kragelskijho (5.8) mezi měrným tlakem a velikostí abrazivního otěru, kde s rostoucím měrným tlakem  $p$  klesá hodnota exponentu  $n$  a vztah Tenenbauma (5.9), který zjistil exponenciální závislost otěru  $W$  na zatížení  $F$

$$W = k \times p^n \quad (n \geq 1) \quad (5.8)$$

$$W = k \cdot F^n \quad (5.9)$$

kde značí:  $p$  - měrný tlak;

$k$  - koeficient závislý na zkoušeném materiálu;

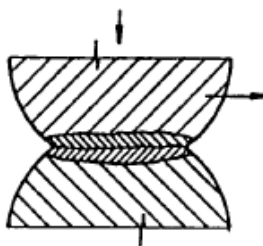
$n$  - hodnotu exponentu.

- **Kombinace abrazivního opotřebení a rázů** - mechanismus kombinovaného procesu abraze a rázů je velmi složitý a nelze počítat jen s vlivem tvrdosti a obsahu uhlíku v oceli. S rostoucím obsahem uhlíku plastická deformace povrchu se zmenšuje a nahrazuje se křehkým lomem.
- **Kluzná rychlost** - podle Chruščova a Babičeva s růstem kluzné rychlosti velikost abrazivního opotřebení mírně roste do rychlosti 2 m/s. U žíhané uhlíkové oceli roste abrazivní otěr o 13 % a u tepelně zpracované oceli jen o 6,5 %.
- **Doba abrazivního opotřebení** - velikost otěru roste lineárně s dobou , délkou třecí dráhy nebo s množstvím zpracovávaného materiálu, [29]

### **Adhezní opotřebení**

Adhezní opotřebení, viz obr. 5-2, nastává, jsou-li při klouzavém pohybu částičky kovu z jednoho povrchu vytrhávány a přenášeny na druhý, popří. odpadnou-li. K vytržení částic dochází proto, že mezi styčnými plochami se uplatňují značné meziatomové síly, které se snaží oba povrchy spojit v jeden kompaktní celek. Je to nejčastější způsob opotřebení součástí z kovových materiálů. Pro vysvětlení adhezního opotřebení existuje řada hypotéz, dosud však není vypracována obecná teorie tak, aby

umožnila celkové kvantitativní hodnocení probíhajících procesů. V teorii Fenga je rozhodující význam při tvorbě mikrospojů přisuzován vzájemnému zablokování mikronerovností na dotykových ploškách následkem plastické deformace.



Obr. 5-2 Schéma adhezní opotřebení, [14]

Velikost objemového otěru ( $W_o$ ) lze určit např. dle vztahu:

$$W_o = \frac{K \cdot N \cdot L}{3 \cdot p_m} \quad (5.10)$$

kde značí:  $K$  - součinitel adhezního opotřebení,  
 $N$  - zatížení,  
 $L$  - délka třecí dráhy,  
 $p_m$  - tlak potřebný k dosažení plastické deformace povrchových nerovností (cca trojnásobek  $R_{kd}$ , tzv. vnikací tvrdost)

Normalizované opotřebení  $W_n$  definované jako objemový otěr na jednotku kontaktní plochy

$$W_n = \frac{W_o}{A_n} \quad (5.11)$$

bývá v nejjednodušší formě dáno Archardovým zákonem

$$W_n = K_A \cdot N_n \quad (5.12)$$

kde značí:  $A_n$  - kontaktní plocha,  
 $N_n$  - normalizovaná tlaková síla,  
 $K_A$  - bezrozměrná Archardova konstanta adhezního opotřebení.

Na vznik adhezního opotřebení mají tedy vliv zejména hloubka a poloměr zakřivení mikronerovností, zatížení a rychlost relativního pohybu stykových povrchů a schopnost (příp.odolnost) materiálu vytvářet adhezní spoje. Intenzitu adhezního opotřebení může významně ovlivnit medium mezi stykovými povrchy. Vlivem

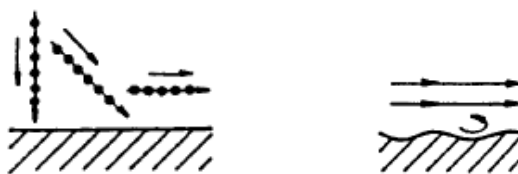
podmínek a intenzity působících vlivů lze v praxi rozlišit různou intenzitou opotřebení od mírné až po intenzivní - zadírání.

### ***Erozní opotřebení***

Erozní opotřebení, viz obr.5-3, je rozrušování materiálu stykem s tuhými částicemi unášenými proudícím médiem (kapalina, plyn). Proces erozivního opotřebení je složitý, je ovlivňován zejména:

- podmínkami nárazu (úhel a rychlost dopadu);
- vlastnostmi media a částic (velikost, tvar, tvrdost a druh částic, rozložení částic v mediu, druhá teplota media a jeho chemické působení);
- vlastnostmi materiálu, který je poškozován.

K porušování povrchu tělesa erozí dochází následkem opakovaných srážek tvrdých částic s povrchem. Při nárazu se kinetická energie částice mění v deformační práci, na povrchu vzniká stopa po dopadu částice, popř. dojde k oddělení malého objemu povrchové vrstvy. Opakované nárazy mají charakter únavového zatěžování. Současné názory na mechanismus dějů jsou založeny na dislokačních modelech zpevnění, vzniku a růstu mikrotrhlin při cyklickém zatěžování.

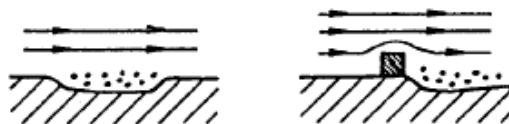


Obr. 5-3 Schéma erozní opotřebení, [14]

### ***Kavitační opotřebení***

Kavitační opotřebení, viz obr. 5-4, způsobují dynamické účinky vyvolané vznikem a zánikem bublin vyplněných sytou párou v kapalině v místech, kde náhle klesne tlak kapaliny pod tlak syté páry a opět stoupne na tlak syté páry. Dosud neexistuje všeobecně přijatelná teorie o mechanismu kavitačního opotřebení. Podle mínění většiny badatelů se předpokládá, že kavitační opotřebení je ve své podstatě mechanickým jevem. Vznik mechanických sil objasňují v podstatě dva modely:

- sférické rázové vlny od místa zániku bubliny k přilehlému povrchu tělesa (Rayleigh);
- bezprostřední náraz paprsků kapaliny (Kornfeld, Suvorov).



Obr. 5-4 Schéma kavitační opotřebení, [14]

Vliv na velikost kavitačního opotřebení mají vlastnosti materiálu. Za rozhodující se považuje tvrdost. V poslední době se dává přednost charakteristikám, které hodnotí schopnost pohlcení deformační energie ( $R_m^2/2E$ ) nebo velikosti energie pro deformaci a vznik trhlin. Nestejnorodost struktury a lokálních vlastností materiálu vede k selektivnímu porušování míst a k urychlenému poškození povrchu a povrchových vrstev.

### ***Únavové opotřebení***

Únavové opotřebení, viz obr.5-5, se projevuje v místech opakovaného styku dvou těles, kde je povrch tělesa vystaven působení normálových a smykových sil a může docházet k uvolňování částic z povrchu a k porušení geometrie tělesa. Nejvýrazněji se projevuje v místech dotyku zakřivených povrchů a mluvíme o kontaktní únavě nebo o kontaktním únavovém porušování. Charakteristickým rysem je opakované působení velkých kontaktních tlaků na povrchu tělesa při působení třecí síly, únavový proces může být kombinován i s adhezním opotřebčováním. [14]



Obr. 5-5 Schéma únavové opotřebení, [14]

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že jehly, používané k zhotovení automobilových sedáků, jsou převážně vystaveny abrazivnímu a adheznímu opotřebení. Tato opotřebení jsou vyvolána samotnými vlastnostmi technických textilií a vlastnostmi polypropylenových lišt, které se také používají k výrobě automobilových sedáků. Dále mohou vzniknout i vlivem apretury šicích nití.

Jehly mohou být také vystaveny koroznímu účinku prostředí, když dochází k chlazení jehly vodní mlhovinou, která má vliv na relativní vlhkost prostředí, viz kap. 2.1.

## 6. POVRCHOVÉ ÚPRAVY STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL

V současné době se provádí řada povrchových úprav strojních šicích jehel.

Povrchové úpravy strojních šicích jehel se provádí za účelem snížení její teploty, která je způsobena třením jehly o šitý materiál. Správná volba povrchové úpravy jehly snižuje koeficient tření mezi strojní šicí jehlou a šitým materiálem a chrání strojní šicí jehlou také proti korozi.

Interakce jehly se šicím materiálem je podrobně rozebrána v kapitole 7.

Druhy povrchových úprav jehly:

- a) leštění;
- b) chromování;
- c) povrch jehly opatřen povlakem nitridu titanu (TiN);
- d) povrch jehly opatřen povlakem teflonu;
- e) povrch jehly opatřen keramickým povlakem;
- f) povrch jehly opatřen diamantovým (DLC) povlakem.

### 6.1.1 Leštění

Je to nejjednodušší povrchová úprava. Provádí se leštěním pomocí leštícího média nebo chemickým způsobem a to pouhým ponořením do speciálních lázní bez použití elektrického proudu. Velmi dokonale se kovové součásti leští elektrolytickým způsobem ve speciálních lázních pomocí elektrického proudu. Používá se stejnosměrný proud a leštěné předměty se zavěšují do lázně jako anody.

Leštění neposkytuje ochranu strojní šicí jehle proti korozi.

### 6.1.2 Chromování

Chromovaný povrch chrání jehlu proti korozi, a zejména tzv. tvrdé chromování dává jehle vysokou odolnost proti opotřebení, ale při šití nesnižuje ohřev jehly. Chromovaná jehla má stříbřitě lesklý a mimořádně velmi hladký povrch při jisté jeho nerovnosti. Tím je omezeno ulpívání částecek apretury šitého materiálu na jehle, jejíž povrch je zmíněnými nerovnostmi zvětšen, a tím také se získává větší plocha pro odvod tepla a rozložení teploty.

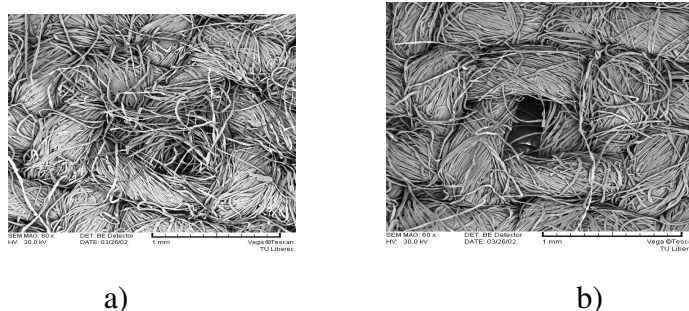
Tato povrchová úprava jehly je velice vhodná pro šití syntetickými nitěmi, neboť zabraňuje ulpívání roztavených částeczek nití na povrchu jehly. Jehla s takto upraveným povrchem se především používá při rychlém šití.

Povrchová úprava se provádí pomocí elektrochemického procesu nebo tzv. plazmovou technologií.

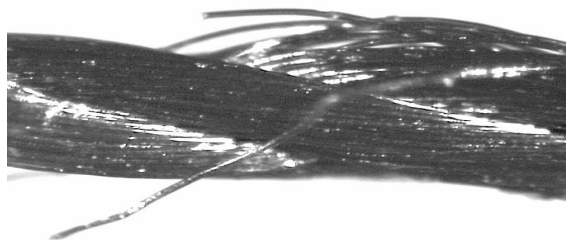
Tato povrchová úprava patří v současné době k jedné z nejlepších úprav.

### 6.1.3 Povrch jehly opatřen povlakem nitridu titanu (TiN)

Jehly a povlakem nitridu titanu se vyznačují extrémní tvrdostí a vysokou pružností špičky, která je vysoce odolná proti opotřebení a prasknutí. Při vysokootáčkovém šití déle odolávají kmitajícím a vibrujícím silám, jakož i vybočením, která vznikají při vpichu a při vedení šitého materiálu. Tím je zamezeno chybným stehům, zlomení jehly nebo destrukci šicího a šitého materiálu, viz obr. 6-1 a 6-2. Díky extrémní tvrdosti vydrží více styků s chapačem a má tudíž zvýšenou funkční jistotu.



Obr. 6-1 a) poškozená vlákna šitého materiálu, b) nepoškozená vlákna šitého materiálu



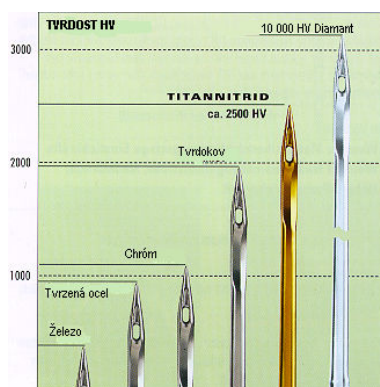
Obr. 6-2 Poškozená vlákna šicího materiálu [1]

V důsledku své vysoké hladkosti je vyžadována menší síla pro vpich. Utěsněný a uzavřený povrch odráží nečistoty a nemá sklony k otupení a zalepování. Životnost jehel je podstatně vyšší a výpadky strojů jsou redukovány.

Na obr. 6-3 je uveden přehled tvrdosti podle Vickerse (HV) jehel s různou povrchovou úpravou.

Jak uvádí Sedláček [18], tvrdost povlaku TiN na ocelovém podkladu je 2450 HV 0,1, a součinitel tření činí 0,1 až 0,75. Tepelné a tribologické vlastnosti povlaků TiN jsou závislé na základním materiálu, to je u jehly na oceli (ČSN 19 222, atd.). Tepelná vodivost TiN povlaku činí  $30 \text{ [ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} ]$ , [18].

Mezi významné užité vlastnosti TiN povlaků patří otěruvzdornost a hladkost. Nitrid titanu jako kompaktní materiál má i velmi dobrou korozní odolnost, jak uvádí Sedláček [25].



Obr. 6-3 Porovnání tvrdosti povrchových vrstev [7]

#### 6.1.4 Povrch jehly opatřen povlakem teflonu

Jehly s tímto povlakem se používají především při šití syntetických materiálů. Většinou jsou tyto jehly fosfátovány, přičemž fosfátování slouží jako podklad pro vrstvu teflonu.

Teflon je obchodní název pro polytetrafluorethylen. Jedná se o termoplastickou pevnou, chemicky a tepelně značně odolnou hmotu. U strojních šicích jehel se používá k vytváření ochranných povlaků.

Měření teplot jehel s nekovovými, resp. teflonovými povlaky ukázala, že se tyto jehly na povrchu zahřívají více než jehly chromové. Příčinou vyšší teploty je v podstatě nízká tepelná vodivost nekovového povlaku. Nízká hodnota tepelné vodivosti tohoto povlaku zabraňuje rychlému rozvodu tepla přes tělo jehly.

V důsledku špatného přechodu tepla z povrchu jehly opatřené nekovovou vrstvou je teplo odváděno převážně na šitý materiál a šicí nit. K tavení s obsahem syntetických vláken při vpichu jehly dochází při rychlosti šití 5000 stehů/min již po ušití 10 až 15 cm materiálu.

Při použití chromových jehel se objeví první teplem poškozené otvory po ušití 30 až 50 cm.

Vysoká teplota povrchu jehly s teflonovou vrstvou je kritická i při šití syntetickými nitěmi. Přetrhy nití jsou podstatně častější než při použití chromových jehel.

I přes tavení šitého materiálu s obsahem syntetických vláken se na jehlách opatřených teflonovým povlakem neusazují zbytky taveniny. Tato odolnost je prakticky jedinou výhodou jehel s nekovovým povrchem.

### **6.1.5 Povrch jehly opatřen keramickým povlakem**

Tento povlak se zatím uplatňuje u strojních šicích jehel, které se používají pro šití materiálů s velkým koeficientem tření, jelikož keramický povlak zvyšuje odolnost materiálů proti abrazi, zlepšuje jeho tepelnou a chemickou odolnost. Použití keramického povlaku u běžných průmyslových strojních šicích jehel se zatím testuje.

U jehel s tímto povlakem dochází ke snížení ohřevu jehly při šití o 20-25% a k zamezení tvorby statické elektřiny. Na jehlách neulpívají zbytky natavenin syntetických vláken.

Díky svému povlaku mají jehly vysokou tvrdost a delší životnost hrotu jehly. Zamezují vynechání stehů a poškození nití šitého materiálu. K propíchnutí šitého materiálu potřebují menší průnikovou sílu.

### **6.1.6 Povrch jehly opatřen diamantovým (DLC) povlakem**

Japonská firma TRIUMPH sewing needle [7], která vyrábí jehly a před několika lety vyrobila i jehly s keramickým povrchem, dále pracuje na vývoji jehel s diamantovým povrchem. Na povrch jehly PVD metodou nanáší uhlík ve formě grafitu nebo uhlovodíku. Vzniklá povrchová vrstva má koeficient tření pouze 0,2 což je mnohem menší hodnota než u výše uvedených povrchových vrstev strojních šicích jehel. Dále je povrchová tvrdost DLC povrchu šestkrát větší než u klasických povrchových úprav strojních šicích jehel a dvakrát než u povrchu TiN a keramiky. Dá se tedy předpokládat, že jehly s DLC povrchem by měly, díky svým vlastnostem, jako je např. odolnost proti chemikáliím, hladkost povrchu, nízká průpichová síla atd., asi pětikrát větší životnost než dosud používané jehly k šití technických textilií, které se používají k zhotovení sedáků automobilů.



## 7. EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠŤOVÁNÍ VLIVU POVRCHOVÝCH ÚPRAV JEHLY NA JEJÍ ŽIVOTNOST

Experimenty této práce jsou zaměřeny na ověření vlivu technologie různých povrchových vrstev (povlaků, povrchových úprav) strojních šicích jehel na jejich životnost. Všechny potřebné zkušební prostředky, jehly s různými povrchovými úpravami, šitý materiál a šicí materiál pro tyto experimenty, byly vybrány s ohledem na řešení cíle této doktorské práce.

Hlavním závěrem prováděných experimentů bylo zjistit vliv technologie povrchových úprav na životnost strojních šicích jehel.

K jeho přípravě bylo využito poznatků výše uvedených v kapitolách 1 až 6.

### 7.1 Přehled prováděných experimentů

Prováděné experimenty této doktorské práce byly rozděleny do dvou etap.

*V první etapě* byly vyrobeny jehly s různými povrchovými úpravami, tyto vrstvy byly nanášeny různými technologiemi a zároveň bylo provedeno metalografické hodnocení struktury strojních šicích jehel. Dále v této etapě byly sledovány vybrané mechanické vlastnosti vyrobených strojních šicích jehel s různými povrchovými úpravami.

*Druhá etapa* zahrnovala experimenty zaměřené na změnu vybraných mechanických vlastností povrchů strojních šicích jehel vlivem opotřebení ve spojovacím procesu a vliv opotřebovaných povrchů strojních šicích jehel na kvalitu vytvořeného spoje.

Přehled prováděných experimentů je uveden v souhrnných tabulkách 7.2 až 7.6. Celkem bylo provedeno 10 skupin experimentů, které zahrnovalo 1 244 měření. Prováděné experimenty byly koncipovány tak, aby mohl být sledován vliv technologie povrchových úprav na životnost strojních šicích jehel.

#### 7.1.1 První etapa sledovaných experimentů

V první etapě byly vyrobeny jehly s různými povrchovými úpravami. Na základě rozboru provedeného v kapitole 1 až 6, byly experimenty zaměřeny na sledování šicích jehel s povrchovými úpravami - chromováním, nitrid titanováním (TiN). A dále s teflonovým a keramickým povrchem.

Pro všechny povrchové úpravy byly jehly vyrobeny z uhlíkového nízkolegovaného ocelového drátu s obsahem 1,2 % uhlíku o průměru 2 mm, který se odvíjel z cívky. Následně byl rovnán a sekán na délku 43 mm a byly zabroušeny konce. Po zabroušení konců byla provedena redukce pomocí rotačního kování a tím se vytvořil přechodový kužel a stvol jehly. Dále bylo lisováno ouško, frézována drážka, broušení přetok a špice za měkka. Pak následovalo tepelné zpracování, které se skládalo z žíhání na teplotu 790 °C a následné výdrže na této teplotě podobu 3 hodin, pak následovalo pomalé ochlazování v peci na teplotu 450 °C a poté na vzduchu. Po žíhání následovalo martenzitické kalení se zmrazením, popouštění, vibrační omílání a planetové leštění. Kalení se zmrazením probíhalo tak, že se jehla zahřála na teplotu 770 °C a následovala výdrž na této teplotě po dobu austenitizace. Pak následovalo rychlé ochlazování. Jehla se prudce ochladila ve vodě o teplotě 20 °C na pokojovou teplotu tak, aby nedošlo po martenzitickém kalení ke stabilizaci zbytkového austenitu v martenzitu, jehla se rychle ochladila pod 0 °C a tím bylo dosaženo co největšího rozpadu zbytkového austenitu v martenzitu, tzn. došlo ke zmrazování. Popouštění následuje ihned po kalení se zmrazením. Jehly se opět v peci zahřály na teplotu 220 °C, následovala výdrž na této teplotě 2 hodiny a ochlazení. Nakonec bylo provedeno strojní rovnání, broušení špic a oušek, zaoblení hrotu. Ouška strojních šicích jehel byly broušeny mechanicky pomocí brusné pasty, ale u strojních šicích jehel určených pro keramické povlakování, byly ouška broušena chemickým roztokem. V konečné fázi byla na vzniklé jehly nanесena povrchová úprava pro zvýšení odolnosti jehly proti opotřebení.

V tabulce 7-1 je uveden přehled následně prováděných povrchových úprav.

Tabulka 7.1 Přehled vyrobených strojních šicích jehel a prováděných povrchových úprav

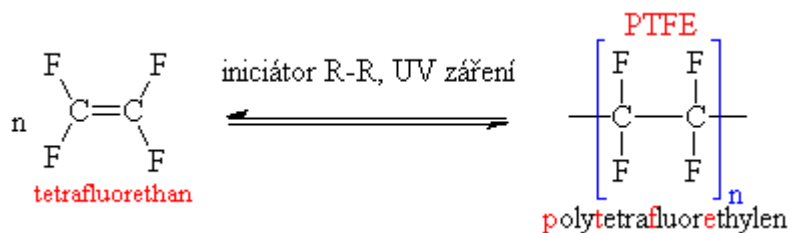
Počet jehel bez povlakování /ks/	Druh povlakování			
	Chromování /ks/	TiN /ks/	Teflonování /ks/	Keramika /ks/
400	100	100	100	100

**Postup výroby jehel s chromovým povrchem** - výroba strojních šicích jehel s chromovou povrchovou úpravou byla provedla pomocí elektrochemického procesu a to galvanickým pochromováním. Při této technologii byly jehly elektrolyticky

odmašťovány ve vaně, která obsahovala roztok průmyslového odmašťovadla o teplotě 65 °C, doba odmaštění byla 4 minut a proudová hustota  $7,5 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$ . Dále následoval oplach jehel v dvojvaně studeného oplachu po dobu  $2 \times 1$  minuta, zdrsňování jehel v chromovací vaně o teplotě lázně 50 °C při napětí 7 V, proudové hustotě  $25 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$  po dobu 6 minut. V této lázni o složení  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , oxidu chromového a kyseliny šťavelové jsou též plastové kuličky, které brání vypařování lázně. Takto připravené jehly byly chromovány v chromovací vaně o teplotě 50 °C po dobu 6 minut. Po chromování následuje ekonomický oplach v dvojstupňové vaně s obsahem destilované vody a redukční oplach v redukční vaně o obsahu siřičitanu sodného po dobu 1 minuty a teplotě 24 °C. Nakonec se provádí tepelné oplachování jehel v lázni, která obsahuje vodu 45 °C teplou, po dobu 3 minut.

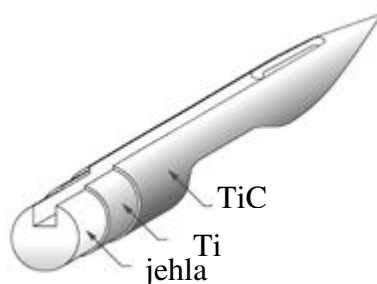
**Postup výroby jehel s nitrid titanovým povrchem** - výroba strojních šicích jehel s nitrid titanovou povrchovou úpravou byla provedena metodou fyzikální depozice z plynné fáze (PVD - physical vapour deposition). Jehly byly nejprve dvoustupňově očištěny a to mechanicky velmi jemnými písky a potom chemicko-fyzikálně pomocí ultrazvuku. Po vysušení byly jehly vloženy do komory, ze které byl následně vyčerpán vzduch a napuštěn argon pro následné dočištění povrchu strojních šicích jehel za pomoci doutnavého výboje. Zbylé atomární nečistoty, které nebyly odstraněny argonem se odstraní pomocí „katodové skvrny“ iontovými částicemi titanu. Po čištění následovala výměna atmosféry v komoře, argon byl nahrazen dusíkem  $\text{N}_2$  pro následné povlakování a opět za pomoci doutnavého výboje a iontů titanu je vytvořen na povrchu jehly povlak nitridu titanu. Vše bylo ukončeno chlazením ve vakuu.

**Postup výroby jehel s teflonovým povrchem** - výroba strojních šicích jehel s teflonovou povrchovou úpravou strojních šicích jehel byla provedena tak, že teflonová (polytetrafluorethylenová - PTFE) vrstva byla vytvořena radikálovou polymerací (s obecným iniciátorem) viz obr. 7-1 schéma tvorby polytetrafluorethylenu.



Obr. 7-1 Schéma tvorby polytetrafluorethylenu [32]

**Postup výroby jehel s keramickým povrchem** – výroba strojních šicích jehel s keramickou povrchovou úpravou byla provedena metodou fyzikální depozice z plynné fáze (PVD - physical vapour deposition). Jehly byly nejprve dvoustupňově očištěny a to mechanicky velmi jemnými písky a potom chemicko-fyzikálně pomocí ultrazvuku. Po vysušení byly jehly vloženy do komory, ze které byl následně vyčerpán vzduch a napuštěn argon pro následné dočištění povrchu strojních šicích jehel za pomoci doutnavého výboje. Zbylé atomární nečistoty, které nebyly odstraněny argonem se odstraní pomocí „katodové skvrny“ iontovými částicemi titanu. Po čištění následovala výměna atmosféry v komoře, argon byl nahrazen titanem pro následné povlakování a opět za pomoci doutnavého výboje je vytvořen na povrchu jehly povlak titanu a po určitém čase je do komory napouštěn uhlovodík k vytvoření další vrstvy a to keramické, která je tvořena titan karbidem (TiC), vše bylo ukončeno chlazením ve vakuu.



Obr. 7-2 Schéma tvorby keramického povlaku jehly , [7].

Na žádost firem, které prováděly povrchové úpravy strojních šicích jehel různými technologiemi, není detailně proveden popis použitých technologií.

Dále v této etapě bylo provedeno metalografické hodnocení struktury šicí jehly. V této souvislosti je třeba upozornit, že tento experiment byl prováděn z důvodu, abychom měli představu s jakým materiálem pracujeme. Také zde byly sledovány vybrané mechanické vlastnosti (tloušťka povlaku, mikrotvrdost, pevnost jehel ve vzpěru, drsnost povrchu) strojních šicích jehel s různými povrchovými úpravami.

V tabulkách 7.2 až 7.3 je uveden stručný přehled použitých strojních šicích jehel a provedených experimentů v této etapě. Experimenty této etapy byly rozděleny do dvou skupin.

**První skupina experimentů** se týká, jak již bylo výše uvedeno, metalografického hodnocení struktury jehly. V tabulce 7.2 je uveden stručný přehled použitých strojních šicích jehel a provedený experiment v této skupině.

Tabulka 7.2 Přehled použitých strojních šicích jehel a experimentů

Použité jehly	Experiment		Poznámka
	Způsob opotřebení /směny/	Druh experimentu	
Bez povrchové úpravy	0	Metalografické hodnocení struktury materiálu	Světelný mikroskop Nikon Epiphot 200

**Druhá skupina experimentů** se týkala hodnocení vybraných mechanických vlastností strojních šicích jehel s různými povrchovými úpravami. V tabulce 7.3 je uveden stručný přehled použitých strojních šicích jehel a provedených experimentů v této skupině.

Tabulka 7.3 Přehled experimentů pro sledování vybraných mechanických vlastností strojních šicích jehel

Použité jehly	Experiment		Poznámka
	Způsob opotřebení /směny/	Druh experimentu	
Povrchová úprava chrom	0	Měření pevnosti jehel ve vzpěru Měření povrchové tvrdosti Měření tloušťky povrchu	Trhací přístroj FP100-Labtest II Mikrotrvdoměr fy. Zwick Mikroskop Nikon Epiphot 200
Povrchová úprava TiN	0	Měření pevnosti jehel ve vzpěru Měření povrchové tvrdosti Měření tloušťky povrchu	Trhací přístroj FP100-Labtest II Mikrotrvdoměr fy. Zwick Mikroskop Nikon Epiphot 200
Povrchová úprava teflon	0	Měření pevnosti jehel ve vzpěru Měření povrchové tvrdosti Měření tloušťky povrchu	Trhací přístroj FP100-Labtest II Mikrotrvdoměr fy. Zwick Mikroskop Nikon Epiphot 200
Povrchová úprava keramika	0	Měření pevnosti jehel ve vzpěru Měření povrchové tvrdosti Měření tloušťky povrchu	Trhací přístroj FP100-Labtest II Mikrotrvdoměr fy. Zwick Mikroskop Nikon Epiphot 200

### 7.1.2 Druhá etapa sledovaných experimentů

V druhé etapě byly provedeny experimenty, které sledovaly vliv opotřebení povrchových úprav strojních šicích jehel ve spojovacím procesu technických textilií na změnu vybraných mechanických vlastností těchto jehel.

Dále zde byl sledován vliv opotřebení strojních šicích jehel ve spojovacím procesu na změnu mechanických vlastností šicích nití a tím na kvalitu vytvořeného spoje.

V tabulkách 7.4 až 7.6 je uveden stručný přehled použitých strojních šicích jehel a provedených experimentů.

Tabulka 7.4 Přehled experimentů, které sledují opotřebení povrchové úpravy vlivem spojovacího procesu technických textilií

Použité jehly	Experiment		Poznámka
	Způsob opotřebení /směny/	Druh experimentu	
Povrchová úprava chróm	0	Měření maximální síly průpichu	Trhací přístroj Labtest 2.050 Optický profilometr Přístroj METEFEM
	1	Měření drsnosti povrchu vrstvy	
	5	Měření drsnosti povrchu v oušku	
Povrchová úprava TiN	0	Měření maximální síly průpichu	Trhací přístroj Labtest 2.050 Optický profilometr Přístroj METEFEM
	1	Měření drsnosti povrchu vrstvy	
	5	Měření drsnosti povrchu v oušku	
Povrchová úprava teflon	0	Měření maximální síly průpichu	Trhací přístroj Labtest 2.050 Optický profilometr Přístroj METEFEM
	1	Měření drsnosti povrchu vrstvy	
	5	Měření drsnosti povrchu v oušku	
Povrchová úprava keramika	0	Měření maximální síly průpichu	Trhací přístroj Labtest 2.050 Optický profilometr Přístroj METEFEM
	1	Měření drsnosti povrchu vrstvy	
	5	Měření drsnosti povrchu v oušku	

Tabulka 7.5 Přehled experimentů pro sledování opotřebení povrchové vrstvy při spojování technických textilií

Použité jehly	Experiment		Poznámka
	Způsob opotřebení /směny/	Druh experimentu	
Povrchová úprava chróm	0	Hodnocení povrchových úprav na elektronovém mikroskopu	Rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130
	1		
	5		
Povrchová úprava TiN	0	Hodnocení povrchových úprav na elektronovém mikroskopu	Rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130
	1		
	5		
Povrchová úprava teflon	0	Hodnocení povrchových úprav na elektronovém mikroskopu	Rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130
	1		
	5		
Povrchová úprava keramika	0	Hodnocení povrchových úprav na elektronovém mikroskopu	Rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130
	1		
	5		

Tabulka 7.6 Přehled experimentů pro sledování vlivu opotřebení strojních šicích jehel ve spojovacím procesu na změnu mechanických vlastností šicích nití

Použité jehly	Experiment		Poznámka
	Způsob opotřebení /směny/	Druh experimentu	
Povrchová úprava chróm	0	Měření šicí schopnosti šicích nití	Šicí stroj MINERVA72112-05Q Zákrutoměr Zweigle Trhací přístroj Labtest 2.050
	1	Měření zákrutů šicích nití	
	5	Měření pevnosti ve smyčce š. nití	
Povrchová úprava TiN	0	Měření šicí schopnosti šicích nití	Šicí stroj MINERVA72112-05Q Zákrutoměr Zweigle Trhací přístroj Labtest 2.050
	1	Měření zákrutů šicích nití	
	5	Měření pevnosti ve smyčce š. nití	
Povrchová úprava teflon	0	Měření šicí schopnosti šicích nití	Šicí stroj MINERVA72112-05Q Zákrutoměr Zweigle Trhací přístroj Labtest 2.050
	1	Měření zákrutů šicích nití	
	5	Měření pevnosti ve smyčce š. nití	
Povrchová úprava keramika	0	Měření šicí schopnosti šicích nití	Šicí stroj MINERVA72112-05Q Zákrutoměr Zweigle Trhací přístroj Labtest 2.050
	1	Měření zákrutů šicích nití	
	5	Měření pevnosti ve smyčce š. nití	

## 7.2 Sledování vybraných vlastností strojních šicích jehel

Pro hodnocení provedených technologických postupů přípravy povrchových vrstev strojních šicích jehel bylo nutno stanovit metodiku zkoušek, které by komplexně hodnotily i souvislosti týkající se kvality povrchové úpravy a následného namáhání strojních šicích jehel ve spojovacím procesu.

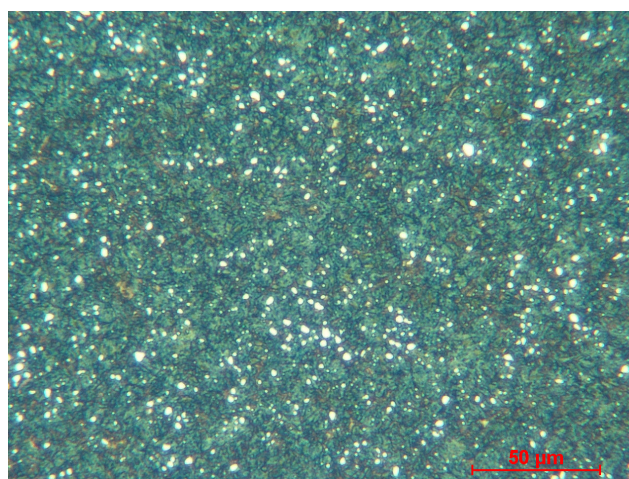
Na základě zjištěných možností byly sledovány tyto mechanické vlastnosti strojních šicích jehel s povrchovými úpravami chrómu, nitridu titanu (TiN), teflonu a keramiky:

- metalografické hodnocení struktury strojních šicích jehel;
- tloušťka povlaku;
- vzpěr;
- mikrotvrdost;
- stanovení maximální síly v průpichu;
- drsnot povrchu.

### 7.2.1 Metalografické hodnocení struktury šicí jehly

V rámci sledování komplexně zadané problematiky bylo nejdříve orientačně provedeno metalografické hodnocení materiálu jehly. To z důvodu, abychom při provádění dalších experimentů měli představu s jakým materiálem pracujeme, resp. jakou strukturou se šicí jehly vyznačují.

Metalografické hodnocení bylo provedeno na světelném mikroskopu Nikon Epiphot 200. Vzorky pro pozorování byly připraveny běžným metalografickým způsobem (jehly byly zality do dentakrylu, broušeny leštěny a leptány). Pro leptání byl použit Nital 3%. Sledování struktury strojové šicí jehly bylo prováděno při 1000 násobném zvětšení. Na obr. 7-3 je struktura strojové šicí jehly. Po správném režimu tepelného zpracování je struktura tvořena jemným martenzitem, II. cementitem a nepatrným množstvím zbytkového austenitu.



Nital

1000 x

Obr. 7-3 Struktura materiálu těla jehly

### 7.2.2 Tloušťka povlaku

Tloušťka povlaku představuje základní nepřímý ukazatel očekávané účinnosti provedené ochrany proti působení vlivů vnějšího prostředí. Podle typu povlaku a mechanismu jeho působení je parametr tloušťky významný či méně významný. Tloušťka povlaku přímo ovlivňuje bariérový efekt povlaku, jeho dokonalou celistvost, pórovitost a další fyzikálně - chemické vlastnosti. [32]

Měření tloušťky povlaků strojních šicích jehel bylo provedeno v laboratořích Katedry strojírenské technologie fakulty strojní pomocí mikroskopu Nikon Epiphot 200 a vyhodnocena pomocí softwaru LUCIA.5 (od firmy Laboratory Imaging). Zjištěné výsledky jsou uvedeny v příloze č. 1. Dále byly provedeny výpočty základních statistických veličin (průměrná hodnota, rozptyl, směrodatná odchylka, variační koeficient) a tyto výsledky se statistickými výpočty jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7.7 a obr. 7.4, kde je znázorněna závislost tloušťky povrchové vrstvy na druhu povrchové vrstvy.



Průměrná hodnota:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (7-1)$$

Rozptyl:

$$s_x^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (7-2)$$

Směrodatná odchylka:

$$s_x = \sqrt{s_x^2} \quad (7-3)$$

Variační koeficient:

$$v_x = \frac{s_x}{\bar{x}} \quad (7-4)$$

kde značí:  $\bar{x}$  - průměrná hodnota měření;

s - směrodatná odchylka;

$s^2$  - rozptyl;

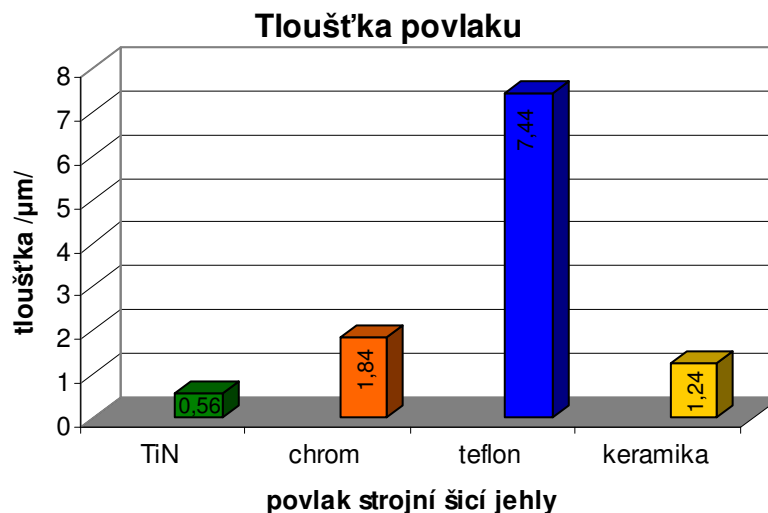
v - variační koeficient [1];

$x_i$  - hodnota i-tého měření;

n - celkový počet měření.

Tabulka 7.7 Naměřené a vypočítané hodnoty tloušťky povlaku strojních šicích jehel

<b>Povlaky jehly</b>	<b>t / <math>\mu\text{m}</math> /</b>	<b>Rozptyl <math>s^2</math> [<math>\mu\text{m}^2</math>]</b>	<b>Směrodatná odchylka s [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Variační koeficient v [1]</b>
TiN	0,56	0,01	0,10	0,18
Teflonový	7,44	0,67	0,82	0,11
Chromový	1,84	0,01	0,10	0,05
Keramický	1,24	0,01	0,09	0,07

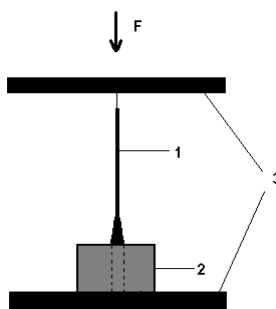


Obr. 7-4 Závislost tloušťky povrchové vrstvy na druhu povrchové vrstvy

Ze závislosti tloušťky povrchové vrstvy na druhu povrchové úpravy strojních šicích jehel, viz obr. 7-4, je zřejmé, že povrchové úpravy vytvořené galvanickou technologií (chróm), PVD technologií (TiN, keramika) a radikálovou polymerací (teflon) vytvářejí povlaky strojních šicích jehel o tloušťce v mikrometrech, viz tabulka 7.7, a tudíž se jedná o povlaky tenké. Z toho vyplývá, že k měření následné tvrdosti musí být použit mikrotvrdoměr. Dále se dá předpokládat, že čím je tloušťka povlaku menší, tím bude měření na mikrotvrdoměru obtížnější a výsledky budou zatíženy větším rozptylem. Dá se také předpokládat, že tvrdost těchto povlaků by mohla být ovlivněna vlastnostmi základního materiálu, jelikož hodnota tloušťky u povrchových vrstev TiN, chrómu a keramiky se blíží hodnotě  $1\mu\text{m}$ , a proto bude nutné při měření tvrdosti používat velmi malé zatížení a u TiN povrchové vrstvy, vzhledem k tvorbě této vrstvy, která roste na povrchu jehly jako sloupečky nebo vlákénka těsně vedle sebe, musíme vybrat zatížení takové, aby při měření tvrdosti nedošlo k proražení vrstvy.

### 7.2.3 Měření pevnosti strojních šicích jehel ve vzpěru

Měření pevnosti vybraných jehel s určitými povrchovými úpravami bylo provedeno v laboratořích Katedry materiálu fakulty strojní. K tomuto účelu byl použit trhací stroj německé provenience FP 100 - Labtest II, na který byl zabudován zvláštní přípravek sloužící k upevnění jehly a provedení zkoušky vzpěrem. Schéma přípravku je na obr. 7-5.



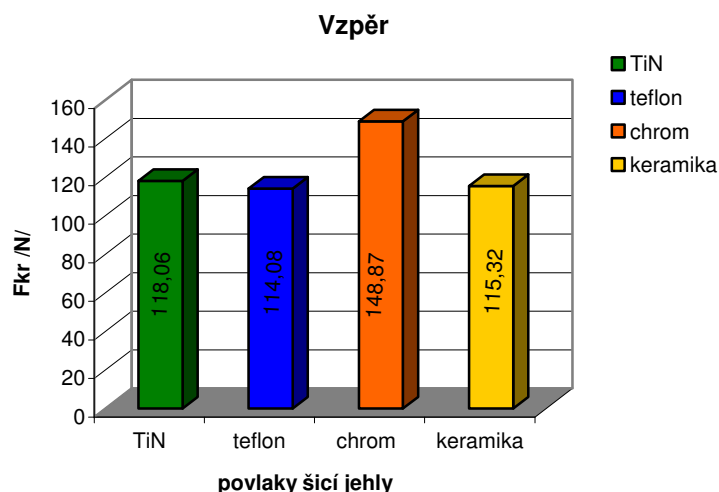
1 - šicí jehla; 2 - upínací element jehly; 3 - čelisti trhačího stroje

Obr. 7-5 Schéma přípravku pro zkoušku vzpěrem

Experimenty byly prováděny tak, že příslušná jehla byla vsunuta do přípravku, ale hrotem nahoru a horní čelist trhačího stroje byla nastavena na hrot jehly. Pak následovalo postupné zvyšování působící tlakové síly, resp. síly ve vzpěru prostřednictvím horní čelisti až došlo k porušení jehly v místě těsně nad ouškem. Takto se porušily všechny jehly. Získané hodnoty této zkoušky jsou uvedeny v příloze č. 2. Tyto hodnoty byly u všech povlaků strojních šicích jehel statisticky zpracovány a jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7-8 a dále je na obr. 7-6 uvedena závislost vzpěrné síly na povrchové úpravě.

Tabulka 7.8 Naměřené a vypočítané hodnoty pevnosti strojních šicích jehel ve vzpěru

Povlaky jehly	$F_{kr}$ /N/	Rozptyl $s^2$ [N <sup>2</sup> ]	Směrodatná odchylka $s$ [N]	Variační koeficient $v$ [1]
TiN	118,06	15,24	3,90	0,03
Teflonový	114,08	18,07	4,25	0,04
Chromový	148,87	16,22	4,03	0,03
Keramický	115,32	31,43	5,61	0,05



Obr. 7-6 Závislosti vzpěrné síly na povrchové úpravě

### Shrnutí výsledků měření pevnosti strojních šicích jehel ve vzpěru

Z průběhů jednotlivých zkoušek bylo zjištěno, že všechny jehly při zkoušce na vzpěr praskají v jednom místě a to v místě přechodu špice jehly v oblasti ouška do stvolu jehly, kde je tzv. vybrání pro chapač. Vybrání pro chapač je rádiusové jednostranné prohloubení na chapačové straně jehly, které umožňuje hrotu stehotvorného ústrojí, aby se přiblížil co nejvíce k strojní šicí jehle a mohl zachytit smyčku, viz kap. 2, tzn. zde je průměr stvolu jehly nejmenší. Při zkouškách bylo i zřejmé vychýlení volného konce jehly a následné porušení v horizontální rovině ouška přecházejícího do stvolu jehly.

Pokud se týká maximálních sil při namáhání jehel na vzpěr, je z naměřených údajů patrné, že největším průměrným silám odolávají jehly s povrchovou úpravou chróm 148,87 [N]. Výrazně nižší střední hodnoty sil ve vzpěru dosahují jehly s povrchovými úpravami nitrid titanu 118,06 [N], keramiky 115,32 [N] a s teflonovou vrstvou 114,08 [N].

#### 7.2.4 Povrchová tvrdost strojních šicích jehel s různou povrchovou úpravou

Pro sledování tvrdosti strojních šicích jehel se používá zkouška dle Vickerse, indentor je tvaru diamantového jehlanu o čtvercové základně a vrcholovém úhlu 136°. Jak je známo Vickersovo číslo tvrdosti (HV) je definováno jako poměr zátěžné síly a plochy vtisku ( $HV = 1,854 F/d^2$  [kp/mm<sup>2</sup>], kde F je zátěžná síla v jednotkách

používaných před zavedením soustavy SI (1 kp = 9,81 N) a d je střední velikost úhlopříčky vtisku v mm).

Pro stanovení tvrdosti strukturních fází nebo součástí velmi malých rozměrů se používá Vickersova zkouška mikrotvrdomosti, která využívá malé zátěžné síly např. 0,01; 0,05; 0,2 kp (tj.cca 0,1; 0,5; 2 N).

K měření byl použit, viz kap. 7.2.2, mikrotvrdoměr fy. Zwick (výrobce SRN). Při zkoušce byla použita zátěžná síla 0,01 kp (cca 0,1 N) při sledování tvrdostí jehel s povrchovou úpravou nitridu titanu. Pro ostatní zkoušky tvrdosti bylo použito zatížení 0,05 kp (cca 0,5 N).

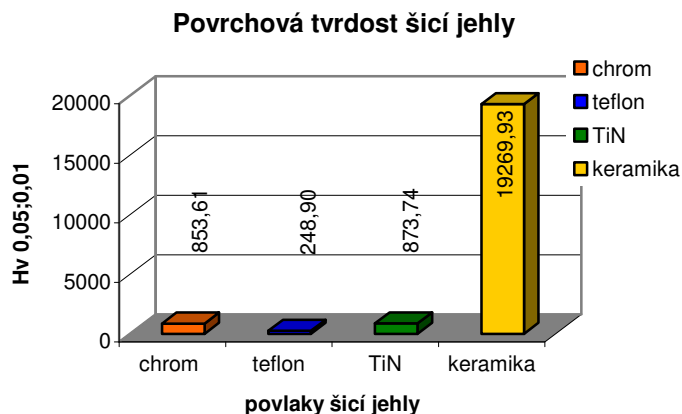
Doba zatížení indentoru byla při všech zkouškách stejná, činila 12 [s].

Pro sledování tvrdosti bylo použito od každé skupiny výše uvedených povlaků strojních šicích jehel 10 kusů jehel, na kterých byla měřena příslušná mikrotvrdomost, zjištěné výsledky jsou uvedeny v příloze č. 3. Tyto výsledky byly u všech skupin strojních šicích jehel statisticky zpracovány a jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7.9. a na obr. 7-7 je dále uvedena závislosti tvrdosti povlaku jehel na povrchové úpravě.

Tabulka 7.9 Naměřené a vypočítané hodnoty povrchové mikrotvrdomosti strojních šicích jehel

Povlaky jehly	HV 0,01;0,05	Rozptyl $s^2$	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v [1]
TiN	873,74	5848,88	76,48	0,09
Teflonový	248,90	95,74	9,79	0,04
Chromový	853,61	397,76	19,94	0,02
Keramický	19269,93	1495531,10	1222,92	0,06

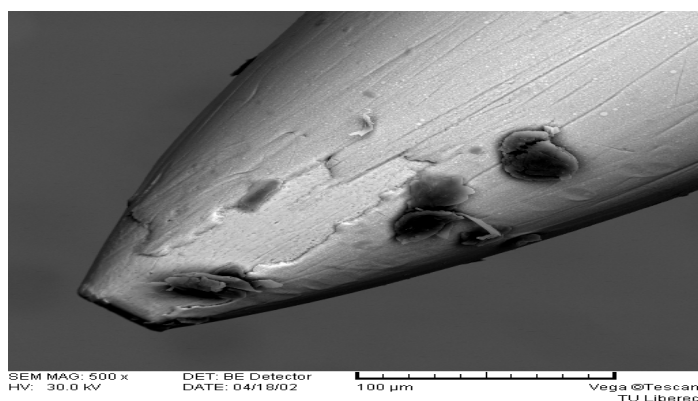
**Poznámka :** Vzhledem k obtížnosti měření tvrdosti keramické povrchové vrstvy, která je způsobena velkou nerovností a malou plochou povrchu viz obr.3 –1,2 příloha 3, byly naměřeny pouze tři hodnoty tvrdosti, vzhledem k ostatním povrchovým vrstvám, kde bylo možno naměřit deset hodnot.



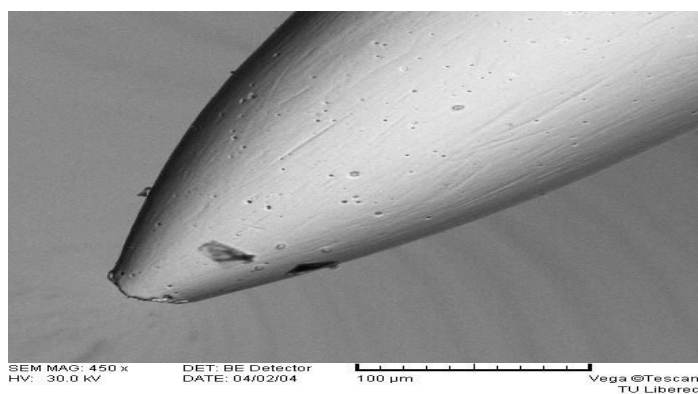
Obr. 7-7 Závislosti tvrdosti povlaku na povrchové úpravě

### Shrnutí výsledků měření povrchové tvrdosti strojních šicích jehel

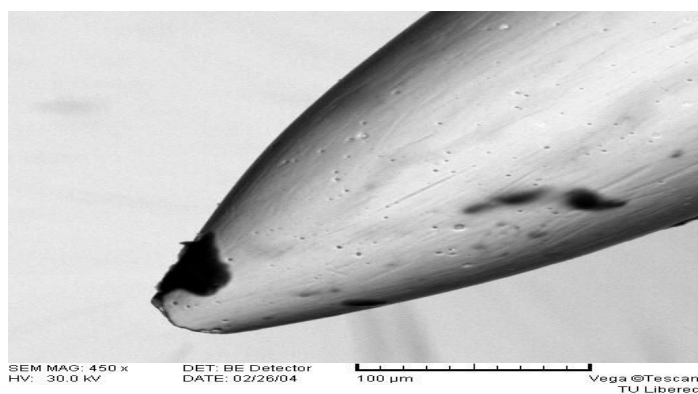
Výsledky při měření tvrdosti, resp. mikrotvrdosti ukazují, že nejvyšší tvrdost vykazují jehly s povrchovou úpravou keramiky (TiC). Střední hodnota této povrchové vrstvy jehly je  $HV\ 0,05 = 19269,93$  a jedná se tedy o velmi tvrdý povrch. Vysokou tvrdost vykazují i jehly s povrchovou úpravou nitridu titanu (TiN), což souvisí s obecně známými charakteristikami binárních sloučenin kovů s dusíkem - nitridů, které se vyznačují vysokou tvrdostí. Tato střední hodnota činí  $HV\ 0,01 = 873,74$ , hodnota je o 96 % nižší než je tvrdost keramické povrchové úpravy. Jehly s ostatními úpravami povrchu vykazují tyto hodnoty nižší, které jsou  $HV\ 0,05 = 853,61$  pro jehlu s chromovým povrchem,  $HV\ 0,05 = 248,90$  pro strojní šicí jehlu s teflonovým povrchem. Nejmenší střední hodnotu tvrdosti tedy vykazují jehly s povrchovou úpravou teflonu ( $HV\ 0,05 = 248,90$ ). Tato hodnota je o 72 % nižší než u jehel s povrchovou úpravou TiN, o 99 % nižší než u jehel s povrchovou úpravou keramiky a o 71 % nižší než u jehel s povrchovou úpravou chromu. Toto se negativně projevuje na abrazivním a adhezním opotřebení strojních šicích jehel s teflonovým povlakem ve spojovacím procesu. Jak bylo výše uvedeno v kap.5.2 OPOTŘEBENÍ, abrazivní a adhezní opotřebení povlaků závisí také na tvrdosti povrchu, tzn. že jehly s teflonovým povlakem odolají vysoké teplotě, ale již po jedné pracovní směně je pouhým okem vidět opotřebení teflonového povlaku, viz obr. 7-8, narozdíl od povlaků chromových, TiN a keramiky, viz obr.7-9 až 7-11. Můžeme tedy také předpokládat, vzhledem k vysoké tvrdosti keramického povrchu strojní šicí jehly ( $HV\ 0,05 = 19269,93$ ), že jehly s keramickým povlakem nejvíce odolají abrazivnímu a adheznímu opotřebení než ostatní povrchové vrstvy.



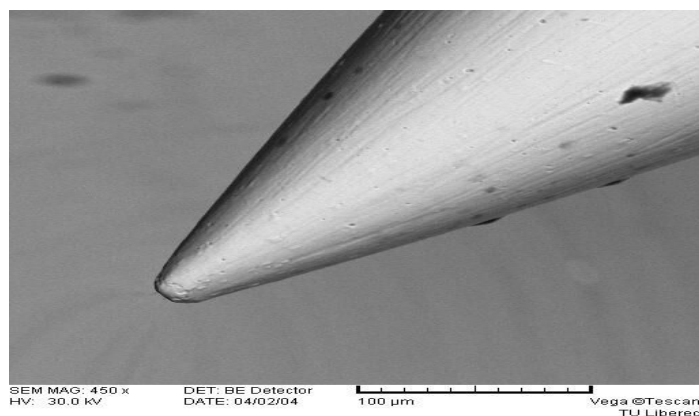
Obr. 7-8 Pohled na detail hrotu jehly s povrchovou úpravou teflonu po jedné pracovní směně



Obr. 7-9 Pohled na detail hrotu jehly s povrchovou úpravou TiN po jedné pracovní směně



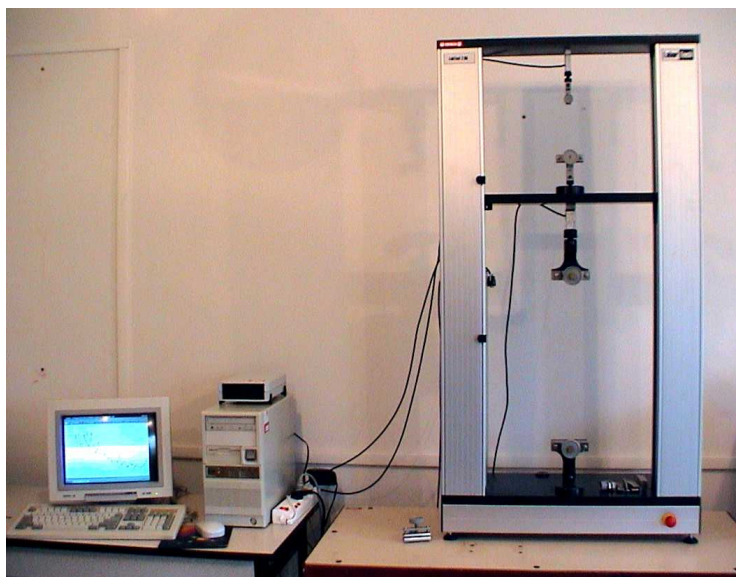
Obr. 7-10 Pohled na detail hrotu jehly s povrchovou úpravou chrómu po jedné pracovní směně



Obr. 7-11 Pohled na detail hrotu jehly s povrchovou úpravou keramiky po jedné pracovní směně

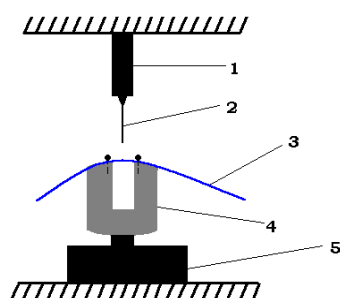
### 7.2.5 Stanovení maximální síly v průpichu

Stanovení maximální síly v průpichu bylo provedeno na trhacím stroji Labtest 2.050, viz obr. 7-12. V horní části stroje je umístěno zařízení pro průpich, jehož schéma je na obr. 7-13.



Obr. 7-12 Příklad Labtest 2.050 [22]





1 - čelist pro upnutí jehly; 2 - jehla; 3 - textilní materiál; 4 - element pro upnutí materiálu;  
5 - čelist trhačického stroje

Obr. 7-13 Schéma zařízení pro průpich jehly [22]

Pro zkoušky průpichu byly zvoleny 4 skupiny jehel a byla použita laminovaná technická textilie, viz tabulka 7.10.

Tabulka 7.10 Charakteristiky použité technické textilie

Textilní materiál	Složení	Vazba
Laminátová textilie	100%PL	zátažná pletenina
	100%PU pěna	-
	směs PL a PA	osnovní pletenina

#### 7.2.5.1 Vliv opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel ve spojovacím procesu na velikost síly průpichu.

Sledování vlivu opotřebení jehly bylo zaměřeno na stanovení velikosti síly průpichu v závislosti na stupni opotřebení jehly. Byly zkoumány tři kategorie jehel. V první kategorii byly měřeny jehly nové (opotřebení 0 hodin), v druhé kategorii byly měřeny jehly opotřeбенé 8 hodin a ve třetí kategorii jehly opotřeбенé 40 hodin. S každou kategorií jehel byl prováděn průpich laminované technické textilie určené k výrobě sedáků automobilů.

Z textilního materiálu byly připraveny vzorky o velikosti 25 x 400 mm střiženy ve směru osnovy.

Vlastní průběh zkoušky byl proveden tak, že do upínacího elementu 4 byly vloženy a mechanicky upevněny dva stejné vzorky dané textilie lícni stranou k sobě (tak, jak je prováděno sešívání textilních materiálů). Element 4 byl upevněn do čelisti trhačického stroje 5. Strojní šicí jehla s příslušnou povrchovou úpravou byla umístěna do čelisti 1. Na trhačím stroji byla nastavena síla průpichu 100 N a rychlost příčnicku trhačického stroje byla 0,0033 [m.s<sup>-1</sup>], tj. 200 [mm.min<sup>-1</sup>]. Tím byl vytvořen průpich textilií,

který se vždy pětikrát opakoval, ale vždy do jiného místa textilního materiálu. Takto byla měřena síla průpichu vždy šesti jehel s různou povrchovou úpravou a to nových nepoužitých ve výrobě a použitých ve výrobě po dobu 8 hodin, 40 hodin. Zjištěné výsledky maximální síly průpichu jsou uvedeny v příloze č. 4. Tyto výsledky byly u všech skupin strojních šicích jehel statisticky zpracovány a jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7.11 až 7.14.

Tabulka 7.11 Vliv opotřebení povrchových vrstev strojní šicí jehel ve spojovacím procesu na velikost síly průpichu - jehla s chromový povlakem

Opotřebení [h]	$F_{kr}$ [N]	Rozptyl $s^2$ [N <sup>2</sup> ]	Směrodatná odchylka $s$ [N]	Variační koeficient $v$ [1]
0	11,22	9,70	3,11	0,28
8	8,35	15,73	3,97	0,48
40	9,79	13,27	3,64	0,37

Tabulka 7.12 Vliv opotřebení povrchových vrstev strojní šicí jehel ve spojovacím procesu na velikost síly průpichu - jehla s TiN povlakem

Opotřebení [h]	$F_{kr}$ [N]	Rozptyl $s^2$ [N <sup>2</sup> ]	Směrodatná odchylka $s$ [N]	Variační koeficient $v$ [1]
0	9,07	4,36	2,09	0,23
8	8,06	7,07	2,65	0,33
40	9,48	7,09	2,66	0,28

Tabulka 7.13 Vliv opotřebení povrchových vrstev strojní šicí jehel ve spojovacím procesu na velikost síly průpichu - jehla s keramický povlakem

Opotřebení [h]	$F_{kr}$ [N]	Rozptyl $s^2$ [N <sup>2</sup> ]	Směrodatná odchylka $s$ [N]	Variační koeficient $v$ [1]
0	2,71	1,64	1,28	0,47
8	3,46	2,28	1,51	0,44
40	3,34	1,51	1,23	0,37

Tabulka 7.14 Vliv opotřebení povrchových vrstev strojní šicí jehel ve spojovacím procesu na velikost síly průpichu - jehla s teflonový povlakem

Opotřebení [h]	$F_{kr}$ [N]	Rozptyl $s^2$ [N <sup>2</sup> ]	Směrodatná odchylka $s$ [N]	Variační koeficient $v$ [1]
0	5,10	1,49	1,22	0,24
8	3,33	0,62	0,79	0,24
40	2,28	0,67	0,82	0,36

#### 7.2.5.2 Vliv opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel vlivem prostředí a spojovacího procesu na velikost síly průpichu.

Strojní šicí jehla je při šicím procesu tepelně namáhána vlivem třecího odporu, který jí klade šitý materiál. Při tření dochází ke vzniku teplené energie a tím k ohřevu strojové šicí jehly, viz kap. 2.2.4.

Dlouhodobé výzkumy výrobců šicích jehel ukázaly, jak vyplývá z výše uvedené kapitoly, že jednou z možností jak snížit ohřev šicí jehly při šití je chlazení jehly vzduchem, vodní mlhovinou nebo navlhčením šicího materiálu.

Při chlazení jehly vodní mlhovinou nebo navlhčením šicího materiálu může docházet k samovolnému nevratnému procesu postupného narušování a znehodnocování materiálu povrchu jehly - korozi povrchu.

Vliv vlhkosti a tepla na povrch jehly byl proto simulován na přístroji UVCON (Accelerated Weathering Tester) viz obr. 7-14. Toto zařízení simuluje povětrnostní podmínky, které způsobují poškození materiálů vlivem zvýšené vzdušné vlhkosti a tepla, poškození vlivem UV záření. Norma: ISO 9001, ASTM G 53, ASTM D 43 29.

Pro experiment byly vybrány jehly opotřeбенé 40 hod, které byly v zařízení umístěny na dobu totožnou (40 hod).



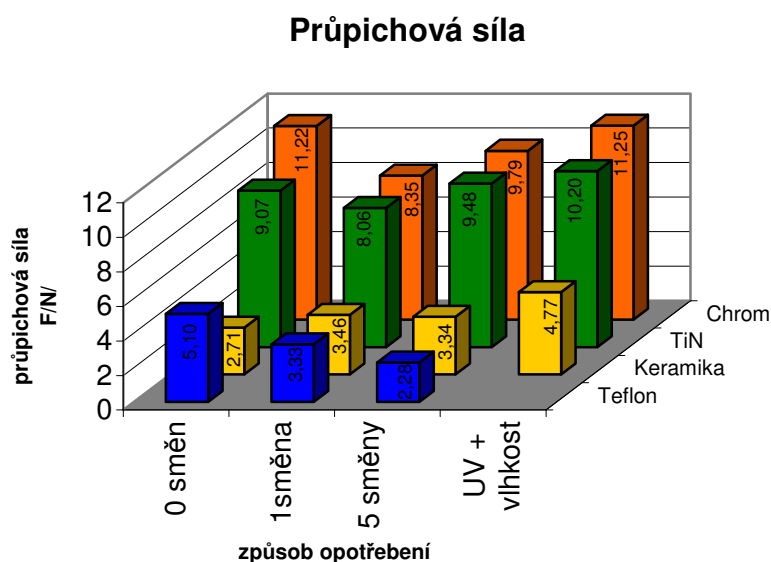
Obr. 7-14 Přístroj UVCON

Vliv vlhkosti a tepla byl prováděn u všech tří druhů strojních šicích jehel opotřeбенých 40 hod. Zjištěné výsledky maximální síly průpichu jsou uvedeny v příloze č. 4. Tyto výsledky byly u všech skupin strojních šicích jehel statisticky zpracovány a jsou uvedeny v tabulce 7.15.

Tabulka 7.15 Vliv opotřebení povrchových vrstev strojní šicí jehel vlivem prostředí a spojovacím procesem na velikost síly průpichu

<b>Opotřebení</b> [40h+UV+100 % vlhkost]	<b><math>F_{kr}</math> [N]</b>	<b>Rozptyl <math>s^2</math> [N<sup>2</sup>]</b>	<b>Směrodatná odchylka s [N]</b>	<b>Variační koeficient v [1]</b>
Chromový povlak	11,25	1,68	1,30	0,12
TiN povlak	10,20	15,31	3,91	0,37
Keramický povlak	4,77	1,77	1,33	0,28

Na obr. 7-15 je znázorněna závislost síly průpichu strojních šicích jehel na druhu opotřebení povrchové vrstvy strojních šicích jehel a druhu technologie vytvoření této povrchové vrstvy (galvanická technologie - chrom, PVD technologie - TiN, keramika, radikálová polymerace - teflon).



Obr. 7-15 Závislost síly průpichu na povrchové úpravě a druhu opotřebení

### Shrnutí výsledků stanovení maximální síly v průpichu

Z naměřených hodnot vyplývá, že u strojních šicích jehel s chromovou povrchovou úpravou došlo po opotřebení 8 hodinami ke snížení síly průpichu o 25%, u strojních šicích jehel s TiN povrchovou úpravou o 11% a u strojních šicích jehel s teflonovým povlakem dokonce o 35 %. Naopak u strojních šicích jehel s keramickou povrchovou úpravou došlo ke zvýšení síly průpichu o 28 %.

Z výše uvedeného vyplývá, že po 8 hodinovém opotřebení nedošlo k žádnému výraznému poškození povrchové vrstvy špičky u strojních šicích jehel s chromovým

a TiN povlakem. Naopak lze říci, že došlo k nepatrnému vyhlazení povrchu jehel, jak je patrné ze snímků pořízených z rastrovacího mikroskopu, viz obr. 7-17, 7-18. U strojních šicích jehel s keramickým povlakem došlo ke zvýšení síly průpichu vlivem mírného zdrsnění povrchu těchto strojních šicích jehel. Na jehle jsou viditelné rýhy, viz obr. 7-16. Ke snížení síly průpichu strojních šicích jehel s teflonovým povlakem došlo díky tomu, že na špici těchto strojních šicích jehel jsou již jen malé zbytky teflonového povlaku, což je vidět i pouhým okem.

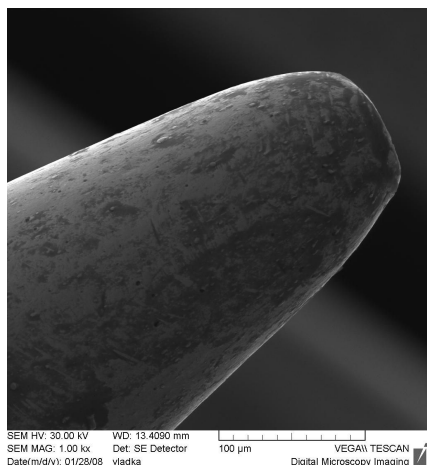
Vlivem 40 hodinového opotřebení ve spojovacím procesu došlo u strojních šicích jehel s chromovou i TiN povrchovou úpravou k opětovnému zvýšení síly průpichu, jak je patrné z obr. 7-15. Naopak u strojních šicích jehel s keramickou povrchovou úpravou došlo k poklesu síly průpichu. Také u strojních šicích jehel s teflonovým povlakem opět klesá síla průpichu, to způsobuje vyhlazování špice strojních šicích jehel s teflonovým povlakem a dalšímu úbytku této vrstvy.

U strojních šicích jehel s chromovou povrchovou vrstvou hodnota vzrostla o 17 %, ale i přesto byla potřebná síla k průpichu stále nižší než u jehly nové (neopotřebené). U strojních šicích jehel s TiN povlakem vzrostla síla průpichu o 18 %, tato hodnota je jen o málo vyšší než síla průpichu u strojní šicí jehly nepoužité viz závislost obr.7-15. U strojních šicích jehly s keramickým povrchem hodnota síly klesla o 4% , ale stále je tato hodnota vyšší než u jehly s keramickým povrchem nové (neopotřebené). Síla průpichu jehly s teflonovým povlakem klesla dokonce o 55 % oproti síle průpichu nové strojní šicí jehly s teflonovým povlakem.

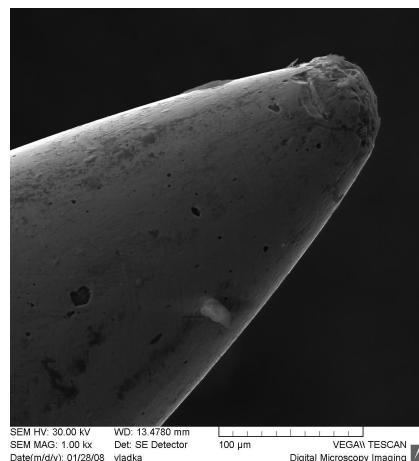
Opětovný nárůst síly průpichu u strojních šicích jehel s chromovou a TiN vrstvou byl způsoben výraznějším opotřebením špic těchto strojních šicích jehel, které je vidět na snímcích špic strojních šicích jehel pořízených po 40 hodinovém opotřebení strojních šicích jehel. Opotřebení je nejvíce patrné na špici jehly s chromovým povlakem viz obr. 7-17, kde je vidět zřetelné zdrsnění povrchu hrotu a jsou zde také viditelné hluboké rýhy od hrotu jehly směrem k oušku.

U jehly s TiN povlakem nejsou sice patrné žádné výrazné rýhy na špici, ale na hrotu jehly je vidět porušená povrchová vrstva. Jsou zde patrná místa, kde vrstva TiN chybí a dochází zde tak k výrazné nerovnosti povrchu viz obr. 7-18. Naopak u jehly s keramickým povlakem došlo po 40 hodinách k vyhlazení povrchu. Viditelné rýhy se výrazně vyhladily viz obr.7-16 a vlivem toho dochází k poklesu síly průpichu u těchto strojních šicích jehel.

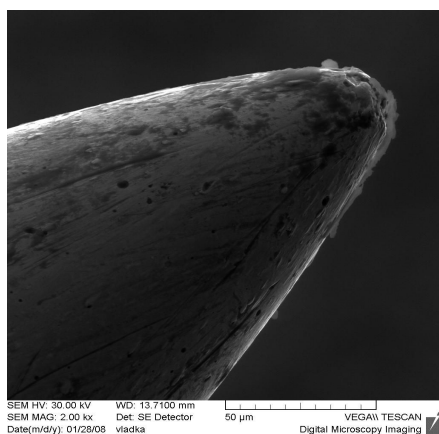
Vlivem 40 hodinového opotřebení, 100% vlhka a UV záření došlo u všech typů jehel na povrchu ke vzniku korozi viz obr. 7-16, 7-17, 7-18 a díky této korozi se povrchové vrstvy strojních šicích jehel zdrsnila a síla průpichu se zvýšila. U strojních šicích jehel s chromovou povrchovou úpravou vzrostla síla průpichu oproti síle průpichu u strojní šicí jehly opotřebované 40 hodinami o 15 %, u strojních šicích jehel s nitrid-titanovou povrchovou úpravou o 8 % a u strojních šicích jehel s keramickou povrchovou úpravou dokonce o 43 %. U strojních šicích jehel s teflonovým povlakem tato zkouška nebyla provedena z důvodu, že bychom již nehodnotili vliv opotřebení, vlhka a UV záření na povrchovou vrstvu teflonu, ale hodnotili bychom tento vliv na základní materiál jehly.



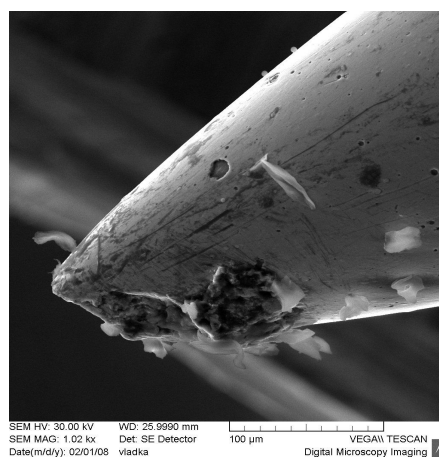
a) nová jehla



b) jehla použitá 8 hodin

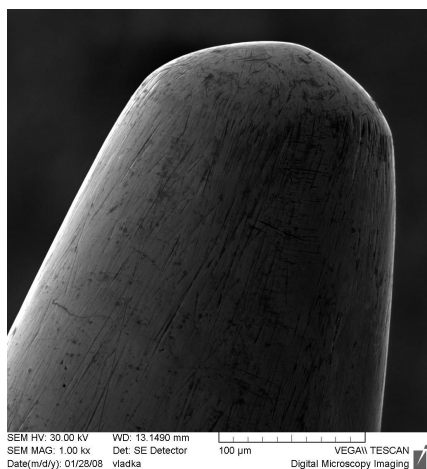


c) jehla použitá 40 hodin

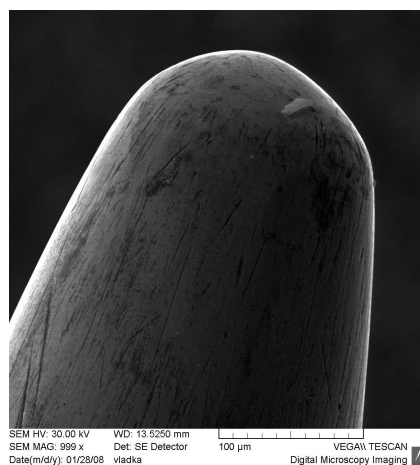


d) jehla použitá 40 hodin +uv +vlhkost

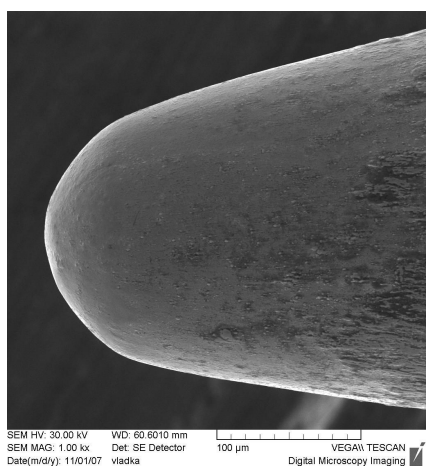
Obr. 7-16 Snímky špic strojních šicích jehel s keramickým povlakem (nové a opotřebované)



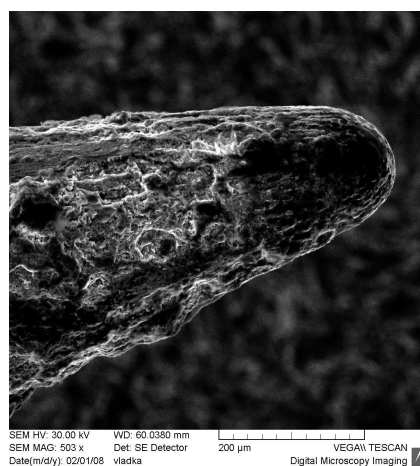
a) nová jehla



b) jehla použitá 8 hodin

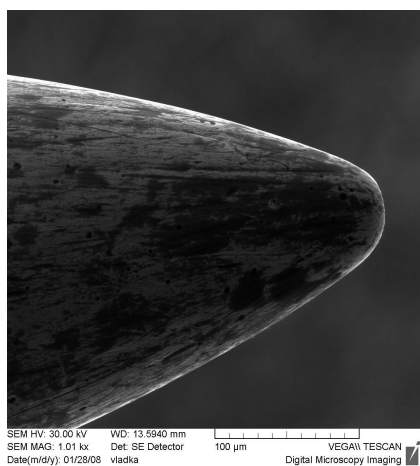


c) jehla použitá 40 hodin

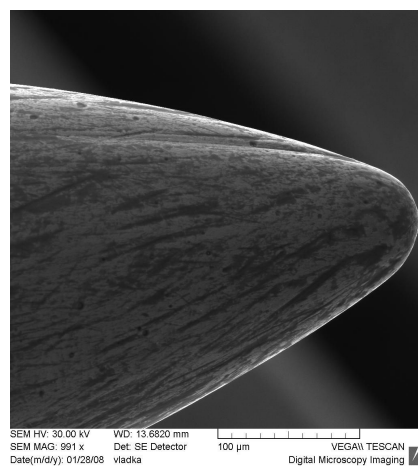


d) jehla použitá 40 hodin +UV +vlhkost

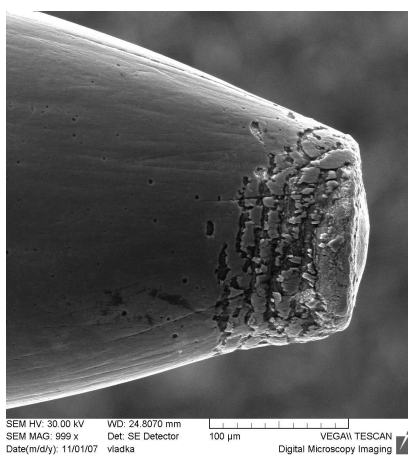
Obr. 7-17 Snímky špic strojních šicích jehel s chromovým povlakem (nové a opotřebené)



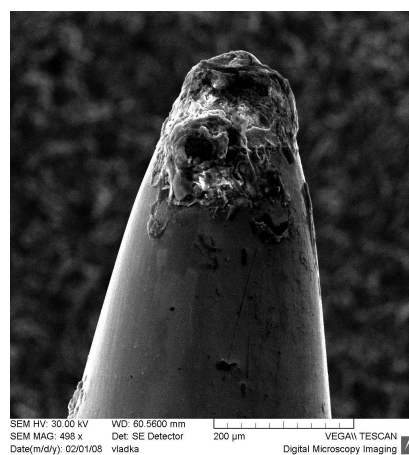
a) nová jehla



b) jehla použitá 8 hodin



c) jehla použitá 40 hodin



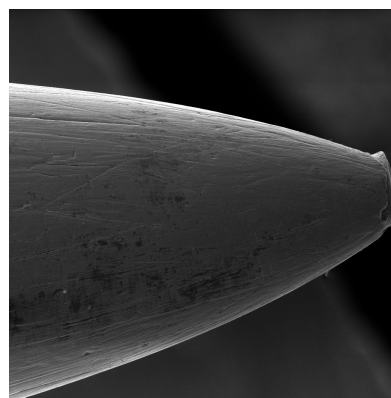
d) jehla použitá 40 hodin + UV +vlhkost

Obr. 7-18 Snímky špic strojních šicích jehel s TiN povlakem (nové a opotřeбенé)





a) nová jehla



b) jehla použitá 8 hodin



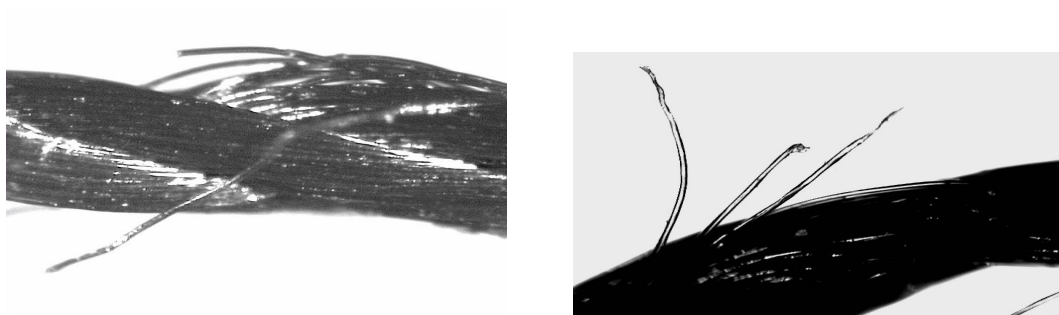
c) jehla použitá 40 hodin

Obr. 7-19 Snímky špic strojních šicích jehel s teflonovým povlakem (nové a opotřeбенé)

### 7.2.6 Stanovení drsnosti povrchové vrstvy jehly

Ve spojovacím procesu šitím se stále vyskytují problémy se zvýšeným oděrem šicí nitě, viz kapitola 2.1, a z toho plynoucí přetrhovost. Při technologii šití, tj. spojování součástí šicí nití, dochází k jejímu tření a tím i k oděru. Velikost a kvalita třecích sil je dána jednak typem šicího stroje, jednak šitým materiálem, který je spojován. K tření šicí nitě tedy dochází především o různé povrchové vrstvy součástí šicího stroje, kde největší podíl na oděru má povrch jehly. Výsledkem toho je narušení šicí nitě, viz obr. 7-20, a může dojít až k destrukci šicího materiálu. Jestliže dojde jen k porušení některých vláken šicí nitě viz obr. 7-20 snižují se především pevnost šicí nitě, která se

projeví teprve během používání výrobku sníženou kvalitou švu. Sledování drsnosti povrchové vrstvy bylo provedeno na povrchu špic a oušcích strojních šicích jehel.



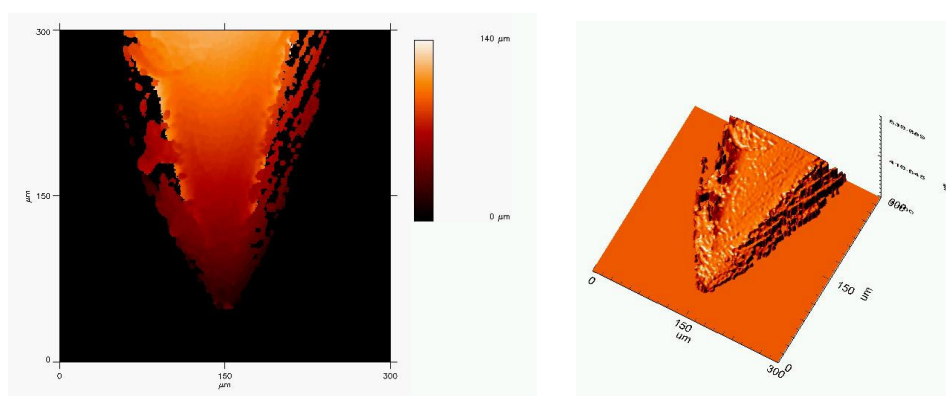
Obr. 7-20 Poškození šicí nitě po zašití do švu - přetržené vlákna šicí nitě

## A) MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL

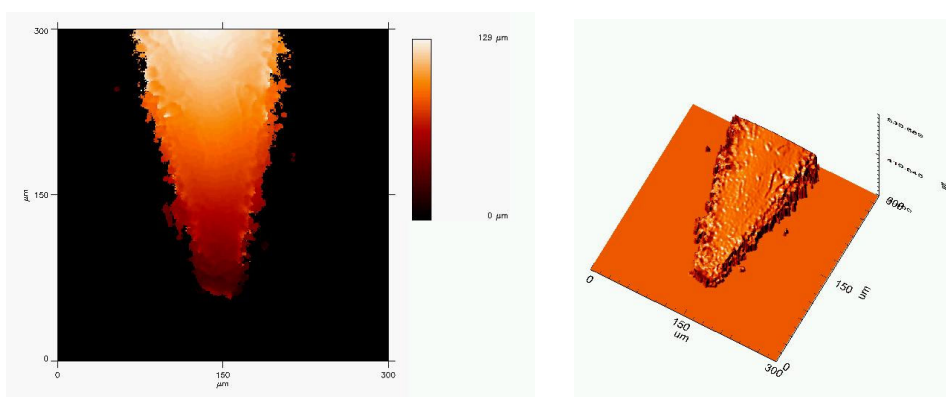
Měření drsnosti povrchu strojních šicích jehel s určitými povrchovými úpravami bylo provedeno v laboratořích Katedry materiálu fakulty strojní. K tomuto účelu byl použit optický profilometr s CWL senzorem firmy FRT s parametry:

- rozlišení            osa x,y..... [ $\mu m$ ]  
                              osa z ..... [ $10nm$ ]
- měřená oblast      300 x 300 [ $\mu m$ ]

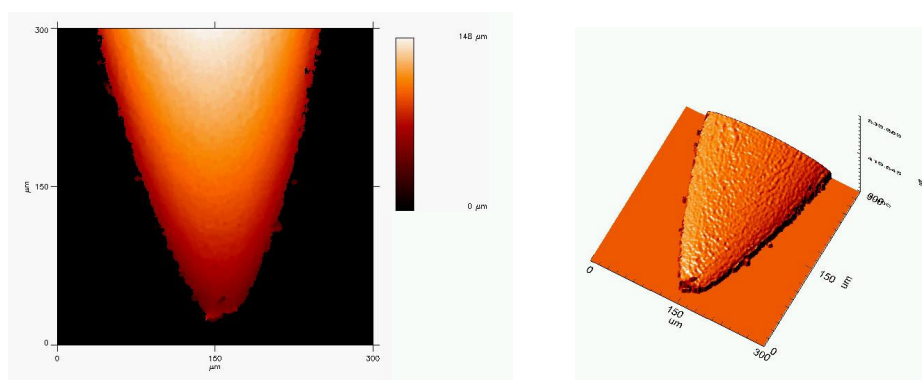
Na obr. 7-21 až 7-24 jsou uvedeny části špic strojních šicích jehel s příslušnou povrchovou úpravou a stanovenou drsností. Zjištěné hodnoty drsností jsou též uvedeny v tabulkách 7.16 až 7.19. Závislost střední aritmetické úchylny profilu drsnosti na povrchové úpravě a druhu opotřebení je znázorněna na obr. 7-25.



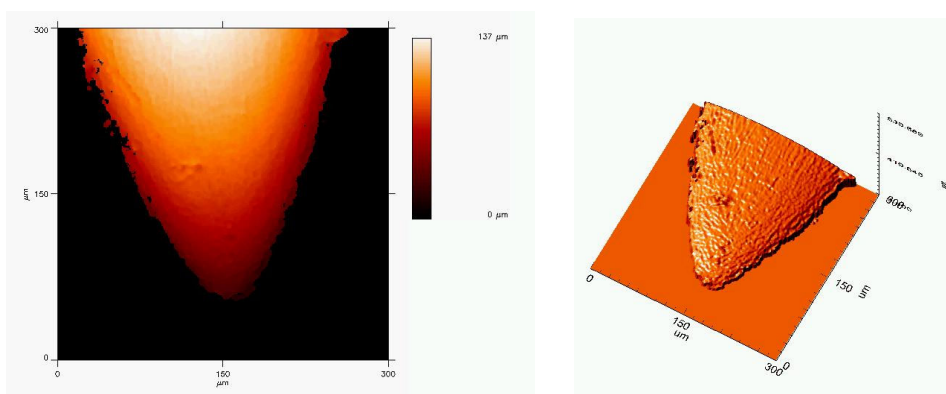
Obr. 7-21 Drsnost povrchu nové strojové šicí jehly s povrchem chrómu



Obr. 7-22 Drsnost povrchu nové strojové šicí jehly s povrchem keramiky



Obr. 7-23 Drsnost povrchu nové strojové šicí jehly s povrchem teflonu



Obr. 7-24 Drsnost povrchu nové strojové šicí jehly s povrchem TiN

Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]	Opotřebení [h]			
	0	8	40	40+UV+vlh.
střední aritmetická úchylka profilu ( $R_a$ )	0,09	0,07	0,06	0,08
výška nerovností profilu z 10 bodů ( $R_z$ )	0,49	0,37	0,26	0,44
celková výška profilu ( $R_t$ )	0,87	0,62	0,40	0,40

Tabulka 7.17 Strojní šicí jehla s TiN povlakem

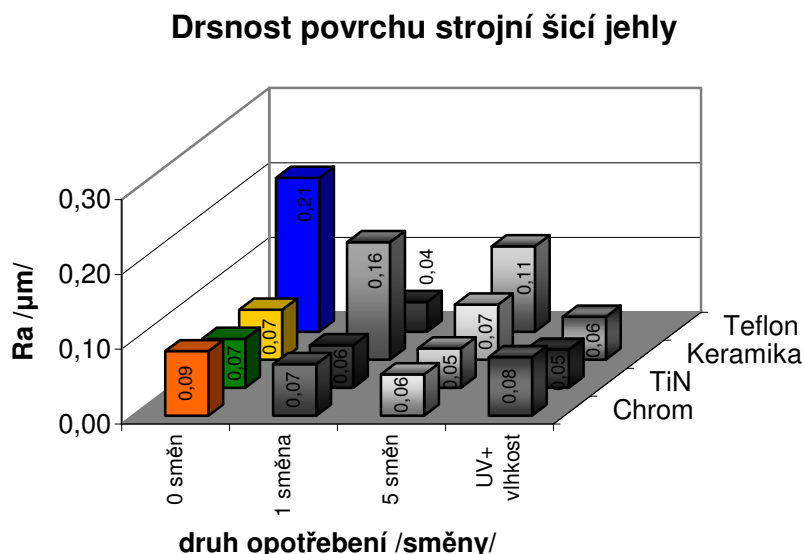
Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]	Opotřebení [h]			
	0	8	40	40+UV+vlh.
střední aritmetická úchylka profilu ( $R_a$ )	0,07	0,06	0,05	0,05
výška nerovností profilu z 10 bodů ( $R_z$ )	0,39	0,33	0,20	0,34
celková výška profilu ( $R_t$ )	0,78	0,45	0,27	0,71

Tabulka 7.18 Strojní šicí jehla s keramický povlakem

Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]	Opotřebení [h]			
	0	8	40	40+UV+vlh.
střední aritmetická úchylka profilu ( $R_a$ )	0,07	0,16	0,07	0,06
výška nerovností profilu z 10 bodů ( $R_z$ )	0,36	0,77	0,43	0,34
celková výška profilu ( $R_t$ )	0,48	1,22	0,55	0,47

Tabulka 7.19 Strojní šicí jehla s teflonový povlakem

Drsnost [ $\mu\text{m}$ ]	Opotřebení [h]		
	0	8	40
střední aritmetická úchylka profilu ( $R_a$ )	0,21	0,04	0,11
výška nerovností profilu z 10 bodů ( $R_z$ )	1,19	0,20	0,60
celková výška profilu ( $R_t$ )	1,39	0,33	0,83

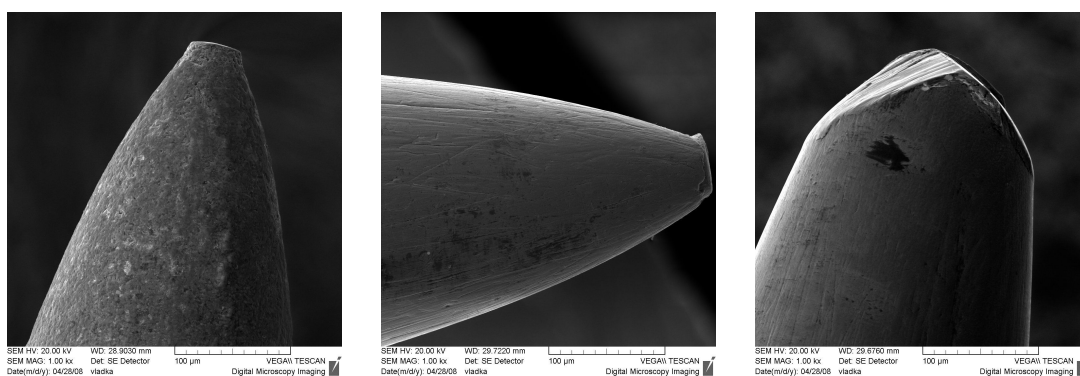


Obr. 7-25 Závislost střední aritmetické úchytky profilu drsnosti na povrchové úpravě a druhu opotřebení

#### Shrnutí výsledků měření drsnosti povrchové vrstvy jehly.

Z provedených měření drsnosti povrchové vrstvy u strojních šicích jehel s povrchovou úpravou chrómu, TiN, teflonu a keramiky je zřejmé, že tato drsnost je závislá na technologii vytvoření povrchové vrstvy. Nejmenší drsnost vykazují povrchové vrstvy zhotovené PVD metodou, kde drsnost povrchové vrstvy TiN i keramiky (TiC) na špici jehly činí  $R_a = 0,07 \mu\text{m}$ , ale hodnota  $R_t$  u TiN povlaku je  $0,78 \mu\text{m}$  a u TiC povlaku pouze  $0,48 \mu\text{m}$ . Povrchové vrstvy vytvořené galvanickým pochromováním vykazují vyšší drsnost  $R_a = 0,09 \mu\text{m}$  a hodnota je  $R_t = 0,87 \mu\text{m}$ . Nejvyšší drsnost má nekovový povlak teflonu, který byl vytvořen radikálovou polymerací, kde  $R_a = 0,21 \mu\text{m}$  a  $R_t = 1,39 \mu\text{m}$ . Vlivem především adhezního a abrazivního opotřebení strojních šicích jehel ve spojovacím procesu došlo u strojních šicích jehel s chromovým povlakem k vyhlazení povlaku tzn. drsnost se snížila přibližně o 22 % - 29 % ( $R_a = 0,07 \mu\text{m}$  a  $R_t = 0,62 \mu\text{m}$ ) po opotřebení 8 hodinami a přibližně o 33 % - 54 % ( $R_a = 0,06 \mu\text{m}$  a  $R_t = 0,40 \mu\text{m}$ ) po opotřebení 40 hodinami, viz obr.7-25, 7-27. Také u TiN povlaku se drsnost snížila a to přibližně o 14 % - 42 % ( $R_a = 0,06 \mu\text{m}$  a  $R_t = 0,45 \mu\text{m}$ ) po opotřebení 8 hodinami a přibližně o 28 % - 65 % ( $R_a = 0,06 \mu\text{m}$  a  $R_t = 0,40 \mu\text{m}$ ) po opotřebení 40 hodinami, viz obr.7-25, 7-28. U strojních šicích jehel s teflonovým povlakem vlivem adhezního a abrazivního opotřebení došlo již po 8 hodinách k odstranění povrchové vrstvy teflonu, viz obr.7-25, 7-26 a tudíž již

nehodnotíme drsnost povlaku, ale povrch základního materiálu tzn., že drsnost se snížila o 81% - 76% na hodnoty  $R_a = 0,04 \mu\text{m}$  a  $R_t = 0,33 \mu\text{m}$  po opotřebení 8 hodinami. Vlivem opotřebení povrchu základního materiálu strojních šicích jehel se opět drsnost strojních šicích jehel s teflonovým povlakem po 40 hodinovém opotřebení zvyšuje na hodnoty drsnosti  $R_a = 0,11 \mu\text{m}$  a  $R_t = 0,83 \mu\text{m}$ , což jsou ještě hodnoty o 48 % - 40 % nižší než je drsnost teflonového povlaku. U strojních šicích jehel s keramickým povlakem vlivem adhezního a abrazivního opotřebení došlo po 8 hodinách k zdrsnění povrchové vrstvy, viz obr. 7-29, a tudíž se drsnost povlaku zvýšila o 128 % - 154 % na hodnoty  $R_a = 0,16 \mu\text{m}$  a  $R_t = 1,22 \mu\text{m}$  po opotřebení 8 hodinami a po opotřebení 40 hodinami se opět drsnost snížila na hodnoty  $R_a = 0,07 \mu\text{m}$  a  $R_t = 0,55 \mu\text{m}$  a přiblížila se hodnotám drsnosti nového keramického povlaku strojních šicích jehel a to na hodnoty  $R_a = 0,07 \mu\text{m}$  a  $R_t = 0,55 \mu\text{m}$  viz obr. 7-25, 7-29.



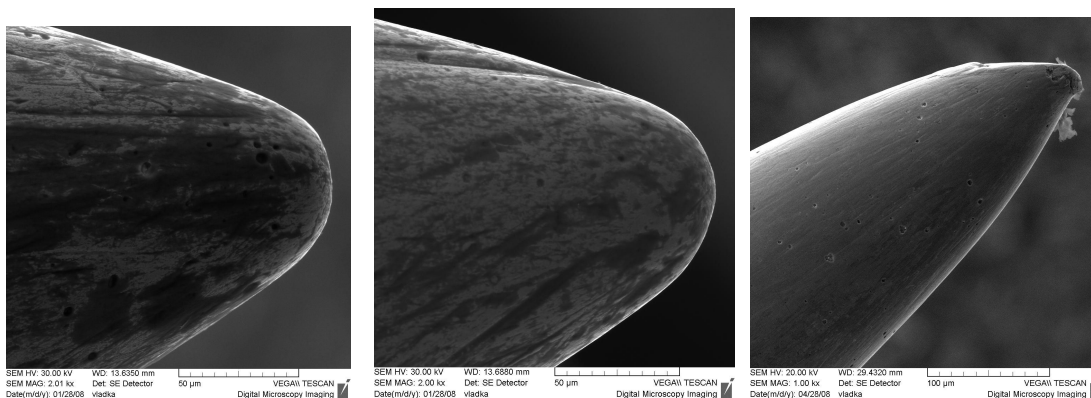
a) teflonový povlak- 0hod. b) teflonový povlak- 8 hod. c) teflonový povlak- 40 hod.

Obr. 7-26 Špice strojních šicích jehel s teflonovým povrchem



a) chromový povlak- 0hod. b) chromový povlak- 8 hod. c) chromový povlak- 40 hod

Obr. 7-27 Špice strojních šicích jehel s chromovým povrchem

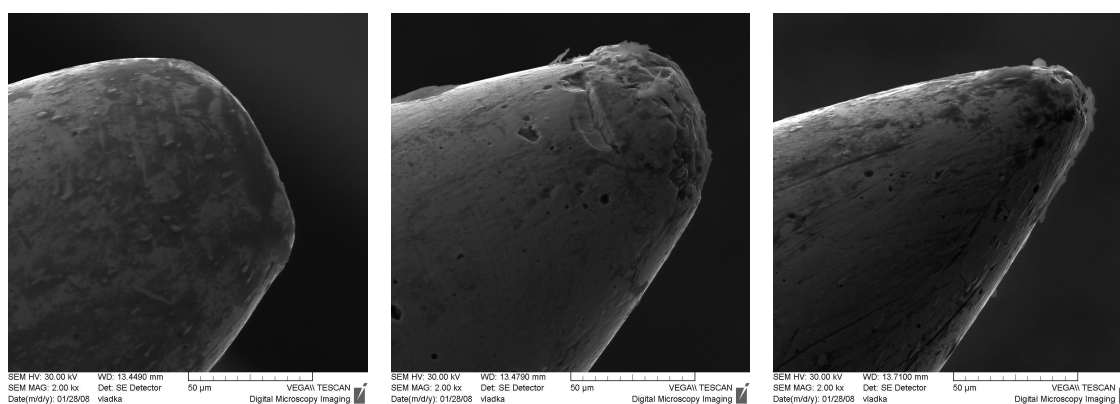


a) TiN povlak- 0hod.

b) TiN povlak- 8 hod.

c) TiN povlak- 40 hod

Obr. 7-28 Špice strojních šicích jehel s TiN povrchem



a) keramický povlak- 0hod.

b) keramický povlak- 8 hod.

c) keramický povlak- 40 hod

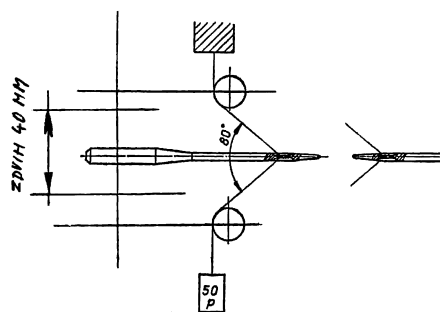
Obr. 7-29 Špice strojních šicích jehel s keramickým povrchem

## B) MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU STROJNÍCH ŠICÍCH JEHEL V OUŠKU

Cílem měření bylo provést měření drsnosti ouška jehly u strojních šicích jehel s povrchovými úpravami chrómu, teflonu, nitridu titanu, keramiky a vliv opotřebení povrchové vrstvy jehly na změnu drsnosti ouška těchto jehel.

Drsnost ouška se měří na přístroji, jehož princip je na obr. 7-31. Ke zjištění drsnosti ouška šicích jehel s různou povrchovou úpravou byly použity nitě BELFIL-S 120 (100% PL), jádrová nit SABA<sup>C</sup> (PL/PL) a nit TRIANA (100% CO) firmy Amann, viz kap.1.

Drsnost ouška se měří při předpětí nitě 0,5 N jak směrem ke špičce, tak i směrem ke dřívku jehly. Při realizaci experimentu byl použit návlek, viz obr. 7-30. Měří se při rychlosti přístroje 470 zdvihů za minutu při výšce zdvihu 40 mm. Jedním zdvihem se rozumí pohyb jehly nahoru a dolů.



Obr. 7-30 Schéma principu přístroje na zkoušku drsnosti ouška

### Popis experimentu

Do přístroje pro měření drsnosti ouška viz obr. 7-31 se upne příslušná jehla s měřenou povrchovou úpravou. Proveďte se návlek nitě přes vodící válce a návlek ouškem jehly. Tím se vytvoří potřebný úhel  $80^\circ$ . Ve spodní části je na konec nitě připevněno předpětí o hmotnosti 0,5 N. V horní části se nit upevní šroubem. Počítadlo přístroje se vynuluje a zařízení se zapne. Jehla koná zdvih střídavě nahoru a dolů, přičemž zdvih jehly způsobí posun nitě na úseku cca 20 mm. Docílený počet zdvihů jehly do opotřebení a přetrhu nitě nepřímo určuje drsnost ouška jehly v místě tření (dotyku jehly s nití).

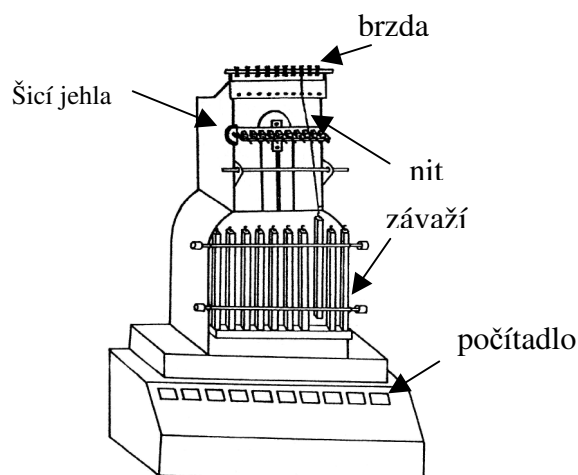
Počítadlo, které je součástí zařízení počítá počet dvojzdvihů jehly až do doby přetržení nitě. Nižší počet dvojzdvihů jehly charakterizuje vyšší drsnost ouška jehly. Vyšší počet dvojzdvihů jehly charakterizuje nižší drsnost ouška jehly.

U jednotlivých povrchových úprav jehel se zkouška provede se třemi jehlami stejné povrchové úpravy, protože jehly i když je jejich kvalita kontrolována nemusejí mít stejnou kvalitu ouška. S každou jehlou se měření provede 3x po sobě, protože i použitá nit není v každém úseku stejně odolná proti opotřebení.

Zjištěné výsledky oděru jehly v oušku jsou uvedeny v příloze č. 6. Tyto výsledky byly u všech skupin strojních šicích jehel statisticky zpracovány a jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7.20 až 7.22.

Při experimentu se nit nespotřebovává jako u klasického šití, ale opotřebovává se na úsek cca 20 mm.





Obr. 7-31 Schéma přístroje na měření drsnosti

Tabulka 7.20 Měření drsnosti povrchu jehly v oušku - šicí nit TRIANA - 100% CO

Opotřebení šicích jehel [směny]	0	$s^2$	s	v	1	$s^2$	s	v	5	$s^2$	s	v
Počet zdvihů / povlak	n [1]				n [1]				n [1]			
TiN	<b>289,22</b>	2245,19	47,38	0,16	<b>118,22</b>	76,19	8,73	0,07	<b>241,00</b>	1558,00	39,47	0,16
Teflonový	<b>178,67</b>	2413,75	49,13	0,27	<b>119,11</b>	654,11	25,58	0,22	<b>143,67</b>	289,00	17,00	0,12
Chromový	<b>103,11</b>	1340,11	36,61	0,36	<b>102,89</b>	1247,61	35,32	0,34	<b>114,78</b>	315,94	17,77	0,15
Keramický	<b>15,33</b>	19,00	4,36	0,28	<b>18,11</b>	32,11	5,67	0,31	<b>19,67</b>	7,5	2,74	0,14

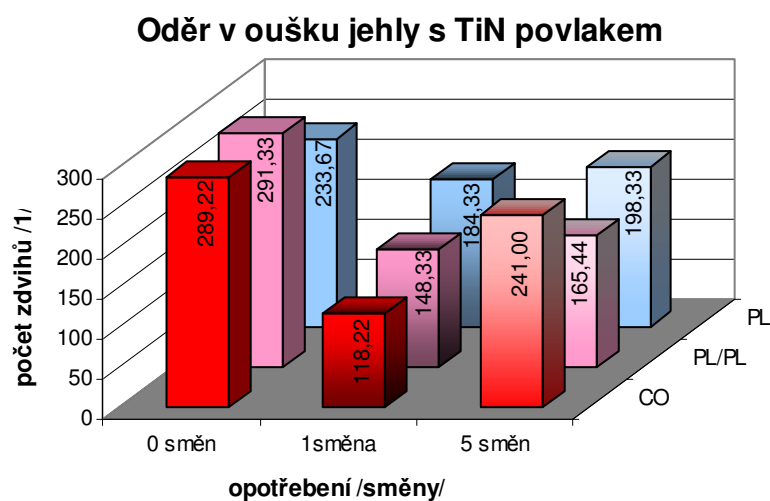
Tabulka 7.21 Měření drsnosti povrchu jehly v oušku - šicí nit BELFIL S - 100% PL

Opotřebení šicích jehel [směny]	0	$s^2$	s	v	1	$s^2$	s	v	5	$s^2$	s	v
Počet zdvihů / povlak	n [1]				n [1]				n [1]			
TiN	<b>233,67</b>	5518,50	74,29	0,32	<b>184,33</b>	2710,25	52,06	0,28	<b>198,33</b>	2433,50	49,33	0,25
Teflonový	<b>191,33</b>	1425,00	37,75	0,20	<b>140,00</b>	1640,25	40,50	0,29	<b>203,89</b>	117,11	10,82	0,05
Chromový	<b>136,00</b>	2832,00	53,22	0,39	<b>172,22</b>	2114,44	45,98	0,27	<b>265,33</b>	2137,75	46,24	0,17
Keramický	<b>95,56</b>	1495,53	38,67	0,41	<b>70,22</b>	972,44	31,18	0,44	<b>73,44</b>	578,03	24,04	0,33

Tabulka 7.22 Měření drsnosti povrchu jehly v oušku - šicí nit SABA C - PL/PL

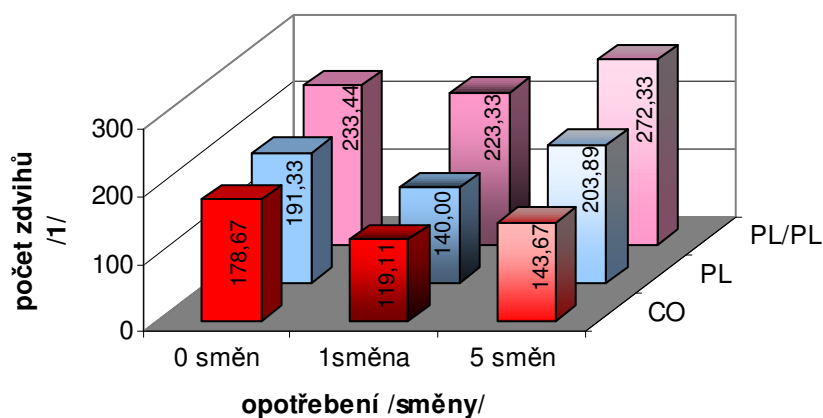
Opotřebení šicích jehel [směny]	0	$s^2$	s	v	1	$s^2$	s	v	5	$s^2$	s	v
Počet zdvihů / povlak	n [1]				n [1]				n [1]			
TiN	<b>291,33</b>	4479,50	66,93	0,23	<b>148,33</b>	702,50	26,50	0,15	<b>165,44</b>	3336,27	57,76	0,35
Teflonový	<b>233,44</b>	2453,53	49,53	0,21	<b>223,33</b>	3667,50	60,56	0,27	<b>272,33</b>	2264,50	47,59	0,17
Chromový	<b>172,56</b>	2587,53	50,86	0,29	<b>190,44</b>	1186,03	34,44	0,18	<b>322,56</b>	1088,53	32,99	0,10
Keramický	<b>98,22</b>	1457,44	38,18	0,39	<b>92,89</b>	178,86	13,37	0,14	<b>114,11</b>	506,11	22,50	0,20

Na obr.7-32 až 7-36 jsou uvedeny závislosti změny oděru šicích nití v oušku strojních šicích jehel s povrchovými úpravami, které byly vytvořeny různými technologiemi, vlivem opotřebení těchto povrchových vrstev strojních šicích jehel.



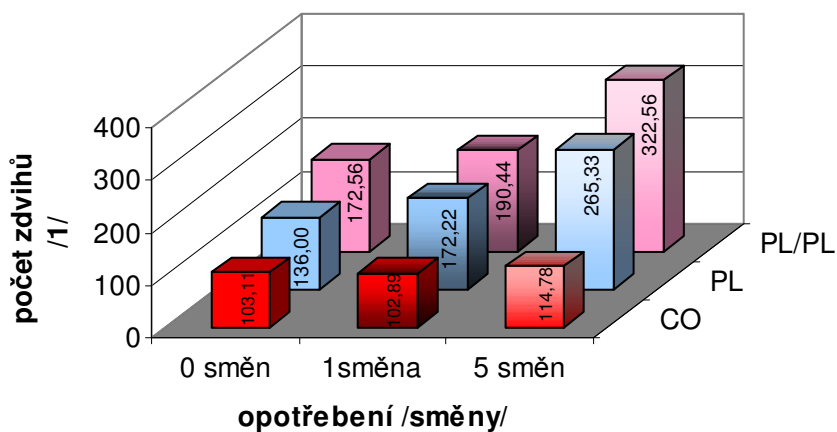
Obr. 7-32 Závislost počtu zdvihů na TiN povrchové úpravě strojní šicí jehly, opotřebení vrstvy a šicím materiálu

### Oděr v oušku jehly s teflonovým povlakem



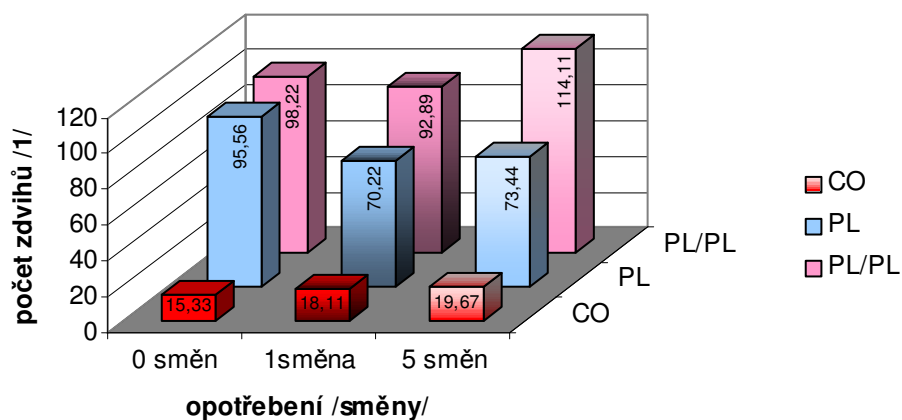
Obr. 7-33 Závislost počtu zdvihů na teflonové povrchové úpravě jehly, opotrebení vrstvy a šicím materiálu

### Oděr v oušku jehly s chromovým povlakem



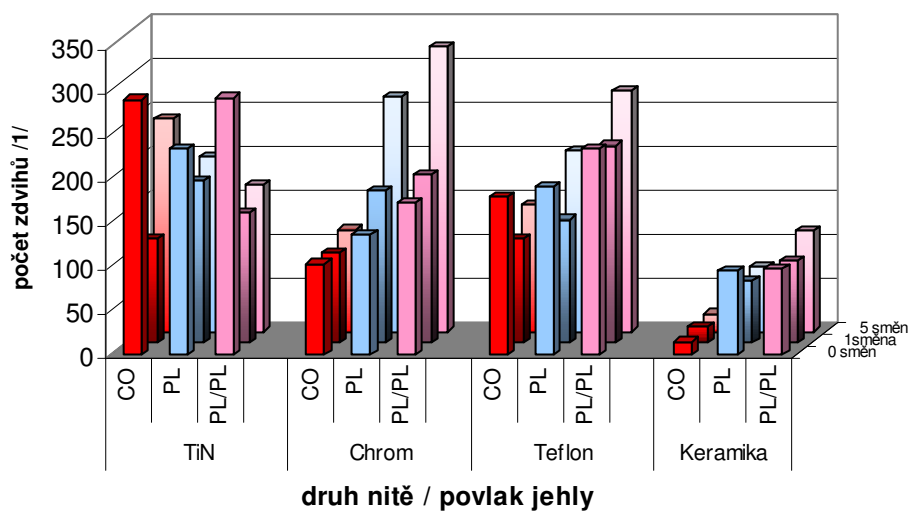
Obr. 7-34 závislost počtu zdvihů na chromové povrchové úpravě jehly, opotrebení vrstvy a šicím materiálu

### Oděr v oušku jehly s keramickým povlakem

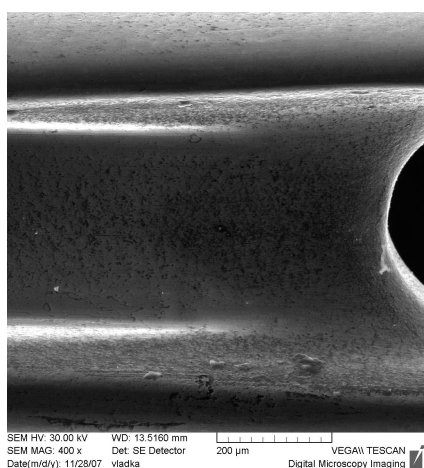


Obr. 7-35 závislost počtu zdvihů na keramické povrchové úpravě strojní šicí jehly, opotřebení vrstvy a šicím materiálu

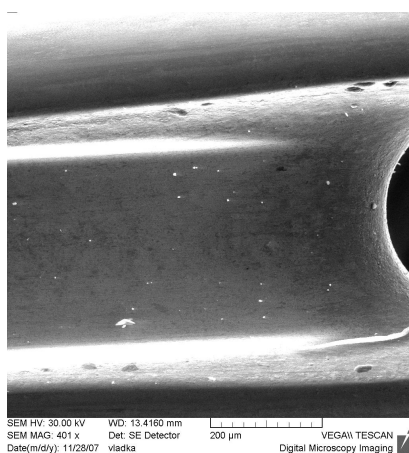
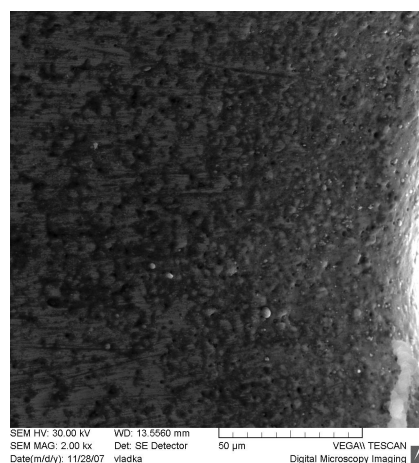
### Oděr v oušku šicí jehly



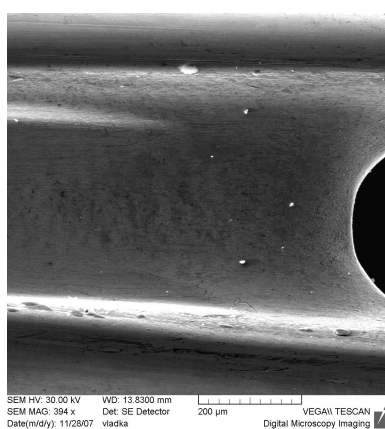
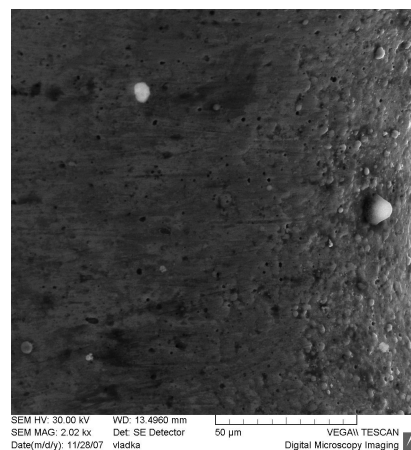
Obr. 7-36 Závislost počtu zdvihů na povrchové úpravě strojní šicí jehly, opotřebení vrstvy a šicím materiálu



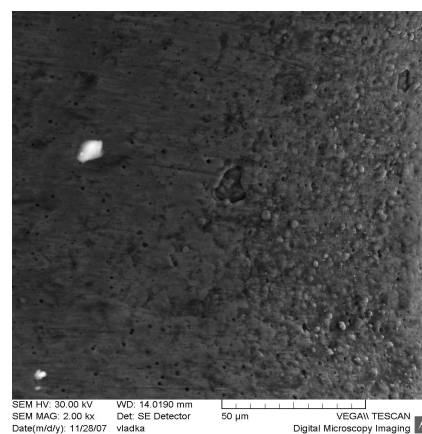
a) nová jehla



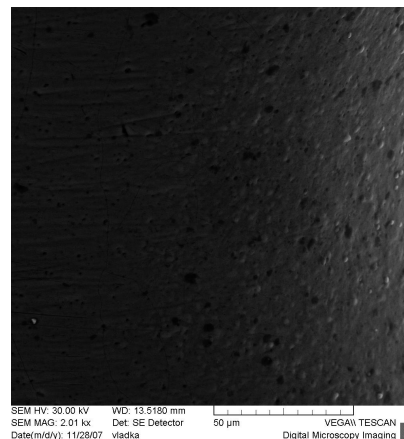
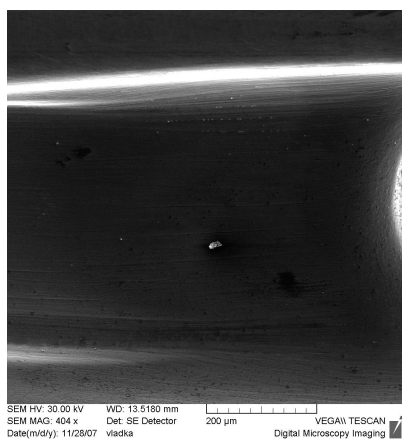
b) jehla použitá 8 hodin



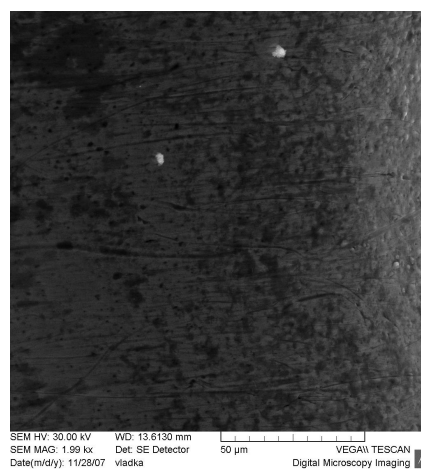
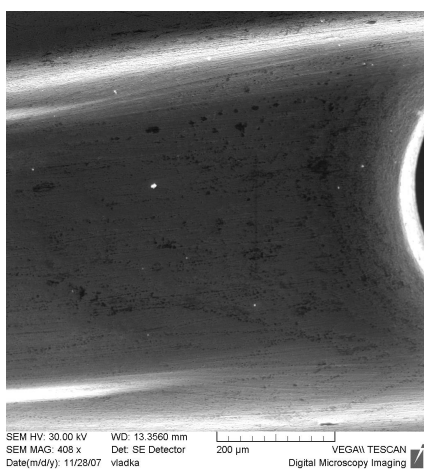
c) jehla použitá 40 hodin



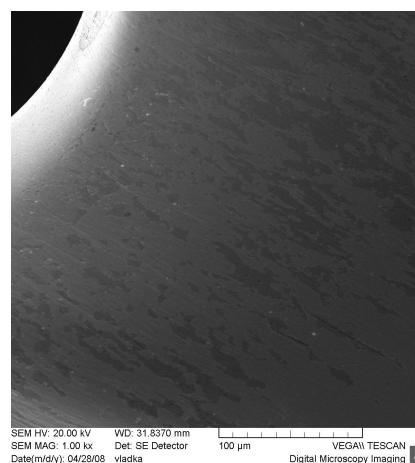
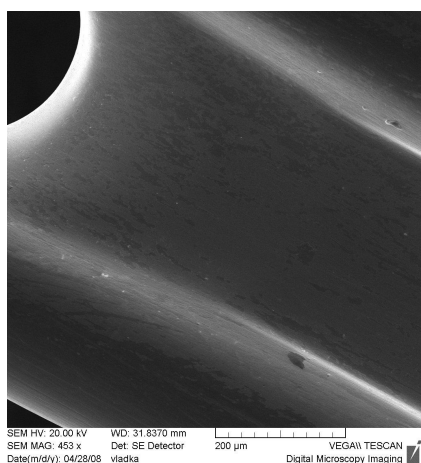
Obr. 7-37 Snímky oušek strojních šicích jehel s keramickým povlakem (nové a opotřebené)



a) nová jehla

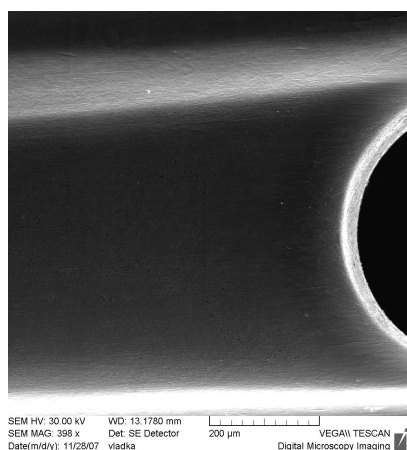


b) jehla použitá 8 hodin

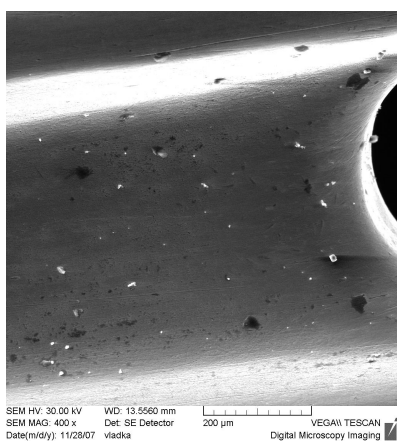
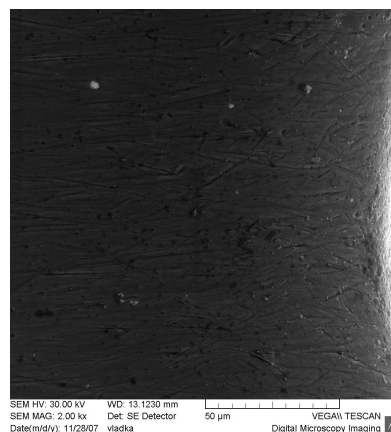


c) jehla použitá 40 hodin

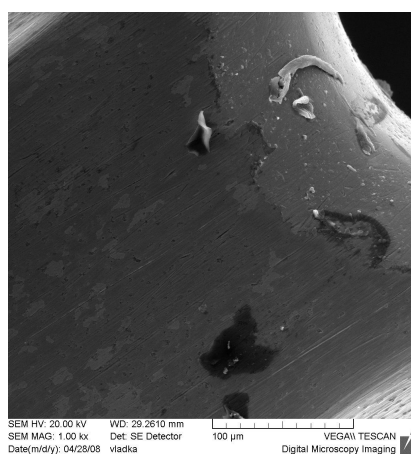
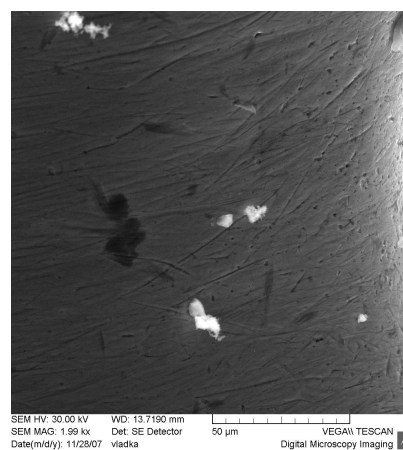
Obr. 7-38 Snímky oušek strojních šicích jehel s chromovým povlakem (nové a opotřeбенé)



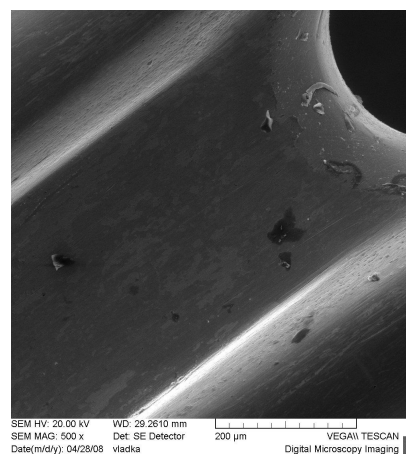
a) nová jehla



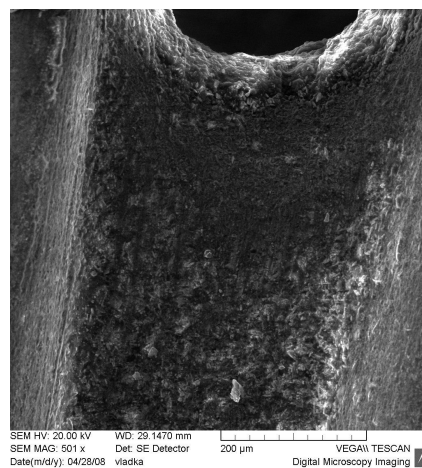
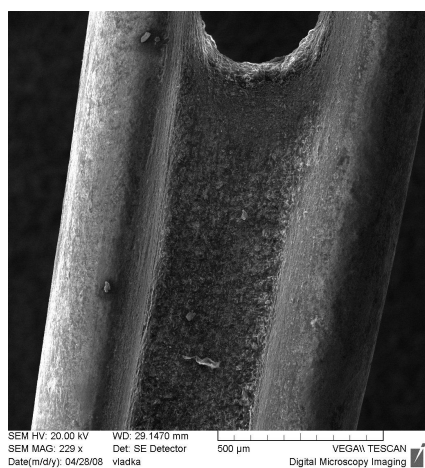
b) jehla použitá 8 hodin



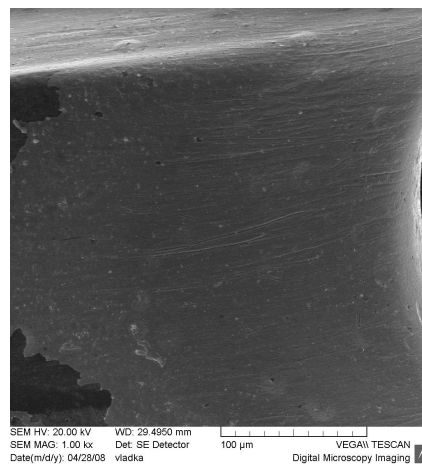
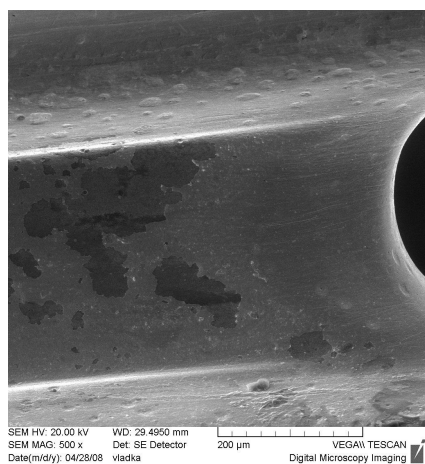
c) jehla použitá 40 hodin



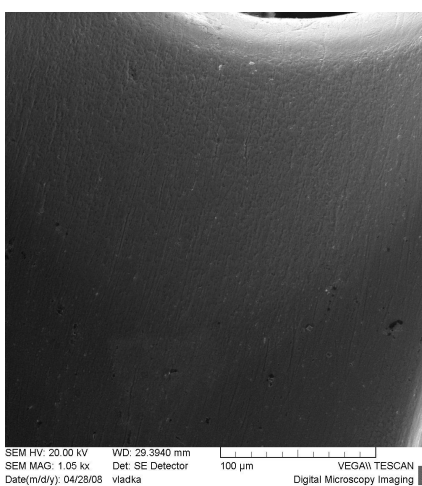
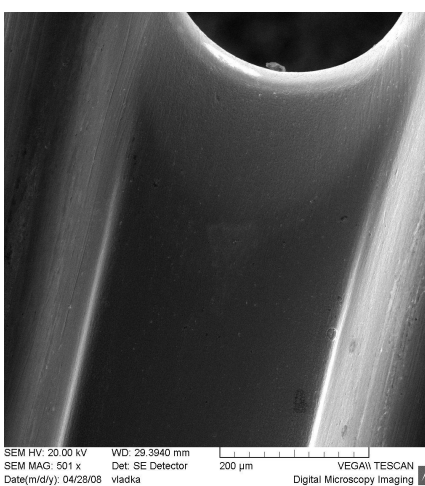
Obr. 7-39 Snímky oušek strojních šicích jehel s TiN povlakem (nové a opotřebené)



a) nová jehla



b) jehla použitá 8 hodin



c) jehla použitá 40 hodin

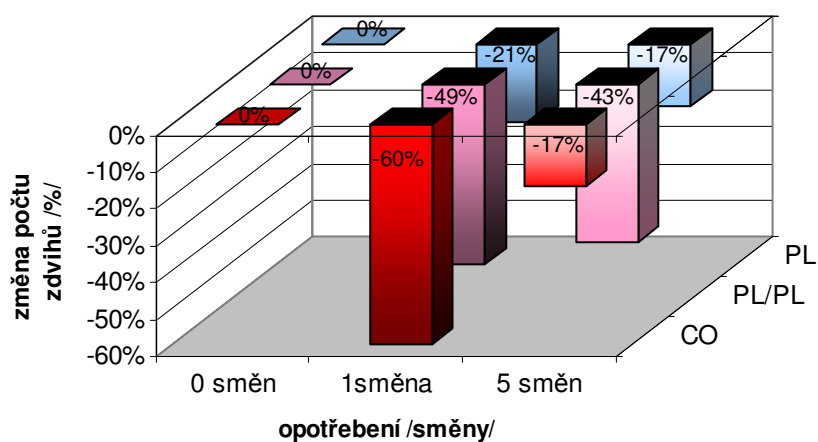
Obr. 7-40 Snímky oušek strojních šicích jehel s teflonovým povlakem (nové a opotřeбенé)



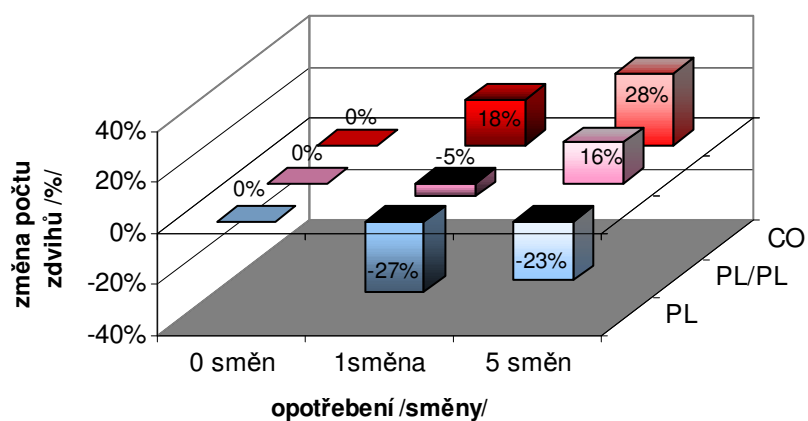
**Shrnutí výsledků měření drsnosti povrchu strojních šicích jehel v oušku**

Při technologii spojování šitím, tj. spojování technických textilií, dochází k tření šicí nitě o povrchové vrstvy součástí šicího stroje a tím i k oděru této nitě, viz kap.2.1. K tření šicí nitě tedy dochází o povrchy různých kvalit a výsledkem toho je narušení jejího povrchu a eventuelně přetrh šicí nitě. Vlivem narušení povrchu šicí nitě oděrem dochází ke změně jejich mechanických vlastností, což má za následek snížení kvality spoje. Nejvíce je šicí nit namáhána v tomto směru v oušku strojní šicí jehly, kde nit před zašitím a dotažením stehu vykonává vratný pohyb, který zejména u nití ze syntetických materiálů způsobuje usazování natavenin šicích nití, matovacích přípravků, aviváže, atd. na povrchové vrstvě jehly v oušku. Dále je v oušku strojní šicí jehly, vlivem pohybu šicí nitě, vyvoláno abrazivní a adhezní opotřebení povrchové vrstvy strojní šicí jehly, což má za následek zdrsnění nebo naopak vyhlazování povrchové vrstvy ouška strojní šicí jehly a tím se mění i mechanické vlastnosti povrchové vrstvy jehly a snižuje se schopnost jehly vytvářet kvalitní spoj.

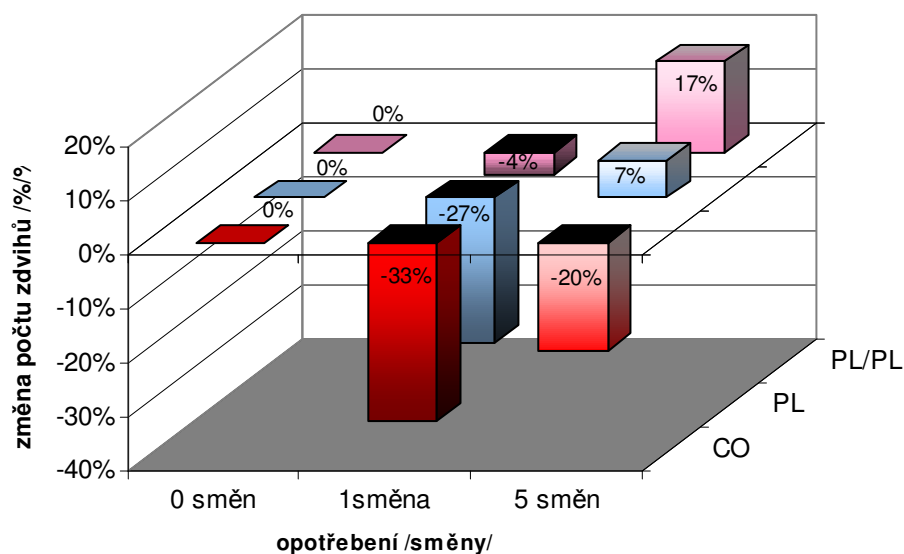
Výsledky měření ukazují, že během spojovacího procesu došlo po jedné pracovní směně (8 hodin) k opotřebení u většiny povrchových vrstev strojních šicích jehel v oušku jehly tzn. ke zdrsnění povrchu, jen u povrchové úpravy strojních šicích jehel s chromovou povrchovou úpravou došlo naopak k vyhlazení povrchové vrstvy, viz obr. 7-38 a toto potvrzuje i závislost změny počtu dvojzdvihů obr. 7-44, který ukazuje nárůst počtu dvojzdvihů u strojních šicích jehel s chromovým povlakem po opotřebení a to u šicí nitě PL o 27 % a u šicí nitě PL/PL o 10 %. U šicí nitě CO došlo k snížení počtu dvojzdvihů o 0,2 %, což můžeme zanedbat a říci, že nedošlo ke změně dvojzdvihů oproti nepoužité strojní šicí jehle. Ostatní povrchové vrstvy vykazují vlivem opotřebení povrchové vrstvy snížení dvojzdvihů, viz závislost obr. 7-36. Dále ze závislosti oděru šicích nití v oušku strojních šicích jehel obr. 7-32 až 7-36 vyplývá, že největší opotřebení po jedné směně vykazují jehly s povrchovou úpravou TiN a s povrchovou úpravou teflonu. Strojní šicí jehla s keramickou povrchovou úpravou naopak vykazuje, největší odolnost proti abrazivnímu a adheznímu opotřebení, jelikož hodnoty počtu dvojzdvihů se zvýšily nebo snížily jen málo viz obr. 7-35, ale ze závislosti obr.7-36 a ze snímků oušek strojních šicích jehel s keramickým povlakem obr.7-37 je patrné, že tento povrch je drsnější a to má vliv na oděr šicích nití. Vlivem drsnosti keramické povrchové vrstvy je počet dvojzdvihů šicích nití velmi nízký viz závislost obr.7-35, tzn. oděr šicích nití je závislý na kvalitě povrchové vrstvy.

**oděr v oušku jehly s TiN povlakem**

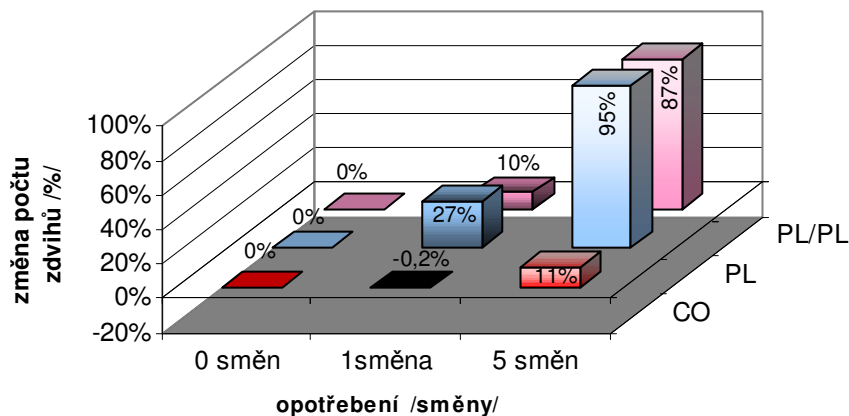
Obr. 7-41 závislost změny počtu zdvihů v % jehly s povrchovou úpravou TiN, opotřebení vrstvy a šicím materiálu

**Oděr v oušku jehly s keramickým povlakem**

Obr. 7-42 závislost změny počtu zdvihů v % jehly s povrchovou úpravou keramiky, opotřebení vrstvy a šicím materiálu

**Oděr v oušku jehly s teflonovým povlakem**

Obr. 7-43 závislost změny počtu zdvihů v % jehly s povrchovou úpravou teflonu, opotřebení vrstvy a šicím materiálu

**Oděr v oušku jehly s chromovým povlakem**

Obr. 7-44 závislost změny počtu zdvihů v % jehly s povrchovou úpravou chromu, opotřebení vrstvy a šicím materiálu

Měření také ukázala, že po pěti pracovních směnách (40 hodin) došlo u všech povrchových úprav strojních šicích jehel v oušku jehly k následnému vyhlazení povrchových vrstev. Toto vyhlazení je znatelné i na snímcích oušek strojních šicích jehel viz obr. 7-37 až 7-40, což mělo za následek opětovné zvýšení počtu dvojzdvihů u všech povrchových vrstev strojních šicích jehel viz závislost obr.7-36. U strojních

šicích jehel s chromovým povlakem u PL nitě dokonce o 95 % a u šicí nitě PL/PL o 87 % než byl počet dvojzdvihů u strojních šicích jehel nových nepoužitých ve výrobním procesu, viz závislost obr. 7-44. Také strojní šicí jehly s keramickým povlakem u šicích nití PL/PL, CO a teflonovým povlakem u šicích nití PL/PL, PL po 40 hodinovém opotřebení se dostaly počtem dvojzdvihů oděru v oušku strojní šicí jehly nad hodnoty nepoužitých strojních šicích jehel s těmito povrchovými úpravami, viz závislost obr 7-42 a 7-43.

Z naměřených hodnot je tedy zřejmé, že abrazivnímu a adheznímu opotřebení nejlépe odolává keramický povlak tzn. hodnoty oděru v oušku strojní šicí jehly u této povrchové vrstvy se vlivem opotřebení mění velmi málo viz závislost 7-35, ale jak již bylo výše uvedeno vytvořený keramický povlak je v oušku strojních šicích jehel drsný a má tudíž negativní vliv na šicí nit a výrazně snižuje její mechanické vlastnosti i hodnoty oděru v oušku strojní šicí jehly. Ostatní povrchové vrstvy strojních šicích jehel se vlivem abrazivního a adhezního opotřebení mění tak, že u nich dochází k zdrsnování a vyhlazování těchto povrchových vrstev. Pouze u strojních šicích jehel s chromovým povlakem dochází vlivem opotřebení povrchové vrstvy jen k vyhlazování povrchové vrstvy, což je dáno vlastnostmi chromového povrchu viz obr. 7-38, kdy vlivem abrazivního opotřebení a teploty vzniklé třením šicí nitě o tuto vrstvu dochází ke snížení výšek nerovností povrchové vrstvy. K tomuto jevu by mělo docházet i u strojních šicích jehel s keramickým povrchem vzhledem k drsnosti těchto strojních šicích jehel v oušku jehly obr. 7-37, ale jak již bylo uvedeno v kap. 5.2, otěr opotřebovaného materiálu je nepřímo úměrný tvrdosti opotřebovaného materiálu a u keramického povlaku je tvrdost povrchu  $HV_{0,05} = 19269,93$ , což je o 96 % vyšší tvrdost než u chromové povrchové vrstvy strojních šicích jehel, kde tato tvrdost činí  $HV_{0,05} = 853,61$  a vzhledem k této vysoké tvrdosti keramického povlaku je tento povlak k abrazivnímu opotřebení více odolný. Zvláštní případ tvoří strojní šicí jehly s teflonovým povlakem. Tyto strojní šicí jehly díky své nízké tvrdosti nejméně odolávají adheznímu a abrazivnímu opotřebení, což dokazuje i to, že povlak teflonu je u nové strojní šicí jehly mnohem drsnější viz obr.7-40, ale tato drsnost se neprojevila na výrazné změně oděru šicí nitě v oušku strojní šicí jehly. Toto bylo způsobeno tím, že šicí nit velmi rychle vyhladí ouško strojní šicí jehly a tudíž naměřené hodnoty oděru šicí nitě v oušku strojní šicí jehly s teflonovým povrchem nehodnotí kvalitu povrchové vrstvy teflonu, ale povrch základního materiálu.

Měření také prokázala, že drsnost povlaku je závislá na kvalitě povrchu základního materiálu. Povlaky chrómu, TiN, teflonu a keramiky mají tloušťku velmi malou, v mikrometrech a dá se předpokládat, že geometrie těchto povrchů bude tedy stejná jako u základního materiálu. Tato vlastnost se projevila hlavně u povlaků TiN a keramiky při srovnání drsnosti povrchu špiče strojních šicích jehel a drsnosti v oušku jehly. Z naměřených hodnot drsnosti špic těchto strojních šicích jehel vyplývá, že nejmenší drsnost mají povlaky keramický a TiN, ale na snímcích povlaků TiN a keramiky v oušku jehly, viz obr.7-39 a 7-37, je vidět vyšší drsnost keramického povlaku, což se odrazilo také na oděru šicích nití v oušku jehly, viz závislost obr. 7-36. Vyšší drsnost keramického povlaku je dána tím, že leštění ouška strojních šicích jehel před nanesením povlaku bylo provedeno pomocí chemického roztoku, kde došlo k uvolnění měkkých součástí oceli ze základního povrchu, ale tvrdé karbidy zde zůstaly jako výstupky na povrchu ouška. U strojní šicí jehly s TiN povlakem, bylo použito mechanické leštění ouška za pomoci nitě a brusné pasty, výsledkem je mnohem hladší povrch základního materiálu strojních šicích jehel. Díky této technologii je dosaženo v průměru dvojnásobku počtu protažení šicích nití ouškem strojní šicí jehly u nových strojních šicích jehel s TiN povlakem než je tomu u strojních šicích jehel s keramickým povlakem. Dá se tedy předpokládat, že kdyby i u strojních šicích jehel s keramickým povlakem bylo použito mechanického leštění ouška, budou hodnoty oděru šicích nití v oušku strojní šicí jehly velmi podobné jako jsou u strojních šicích jehel s TiN povlakem.

### **7.3 Hodnocení povrchových úprav strojních šicích jehel na elektronovém mikroskopu**

Hodnocení opotřebení povrchových úprav strojních šicích jehel bylo provedeno na Katedře textilních materiálů. K tomuto účelu byl použit elektronový mikroskop VEGA TS 5130, obr. 7-45. V levé části obrázku je pohled na mikroskop, v pravé je schématické naznačení komory pro zakládání sledovaných vzorků.

Jedná se o počítačem řízený rastrovací elektronový mikroskop, který je určen k pozorování povrchů při velkém zvětšení s velkou hloubkou ostrosti. Mikroskop se vyznačuje těmito parametry:

Rozlišení: 3,5 nm

Zvětšení: 20 až 500 000

Urychlovací napětí: 0,5 až 30 kV

Příkon: max. 1300 VA

Napájecí napětí: 230 V $\pm$ 10% 50 Hz.

Pracovní podmínky:

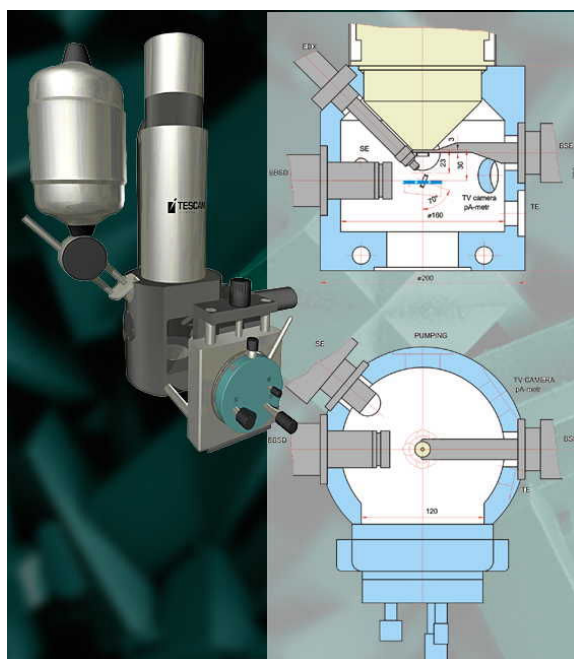
teplota okolí: 15 až 30°C

vibrace: max. 1  $\mu$ m (při 5 Hz)

relativní vlhkost: 40 až 80 %

tlak vzduchu: 86 až 106 kPa.

Mikroskop se skládá ze 4 částí: fyzikální část, elektronika, počítač a software.



Obr. 7-45 Rastrovací elektronový mikroskop VEGA TS 5130 [23]

Pro sledování na elektronovém mikroskopu byly vybrány jehly z jednotlivých skupin typů, jak je uvedeno v kapitole 3.2.2 o měření tvrdosti. Současně tyto 4 skupiny jehel byly rozděleny do 2 podskupin. Jedna podskupina jehel byla používána po dobu jedné pracovní směny, druhá po dobu 5 pracovních směn. Povrchové úpravy jehel byly pozorovány při různém zvětšení.

Při každém experimentu byla jehla přilepena speciální páskou k podložce ve tvaru disku se stopkou pro uchycení ve stolku manipulátoru. Vzorek byl zaprášen zlato-paládiovým práškem. Poté byl umístěn do komory s manipulátory a detektory.

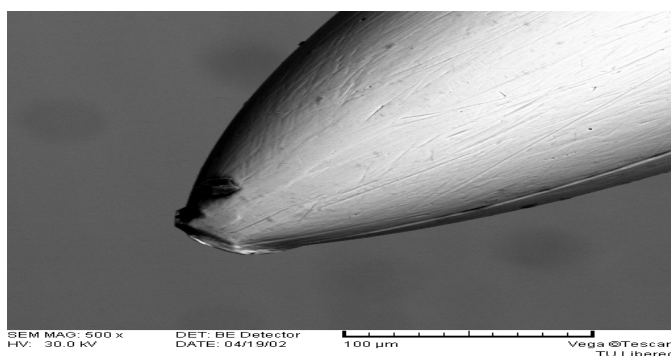
Po odčerpání vzduchu z komory a nastavení napětí se na monitoru počítače objevil obraz jehly, který jsme zaostřili a zvětšili. Povrchy jehel byly sledovány na třech místech (na hrotu, v oblasti ouška a na stvolu jehly). Z celé řady mikroskopických snímků byly vybrány pro účely této práce jen ty nejdůležitější, na kterých jsou patrné výrazné změny povrchové úpravy. Způsoby poškození povrchových vrstev strojních šicích jehel jsou na obr. 7-46 až 7-56.

V levé části pod snímky je uvedeno zvětšení spolu s dalšími údaji o mikroskopu.

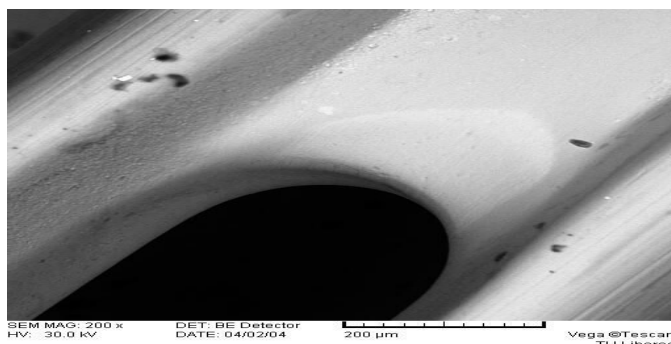
### **Možnosti poškození povrchové vrstvy jehly:**

Na obr.7-46 až 7-56 jsou uvedeny možnosti opotřebení povrchových vrstev na všech druzích strojních šicích jehel. Snímky konkrétního opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel je uvedeno v příloze č. 7.

#### **➤ Poškození povrchové vrstvy strojní šicí jehly rýhami**

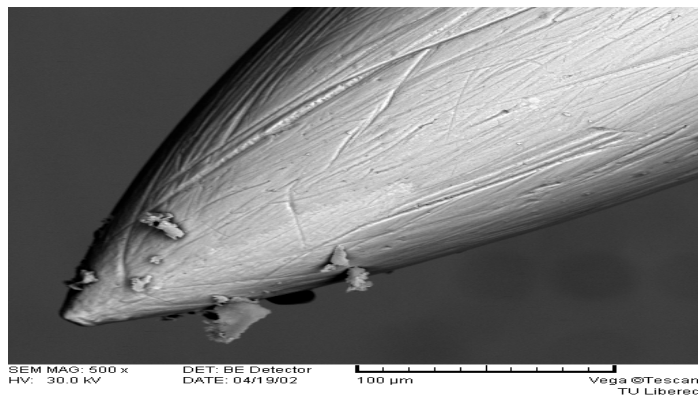


Obr. 7-46 Poškozená povrchová vrstva hrotu strojní šicí jehly rýhami (mikroskop Vega TS 5130)

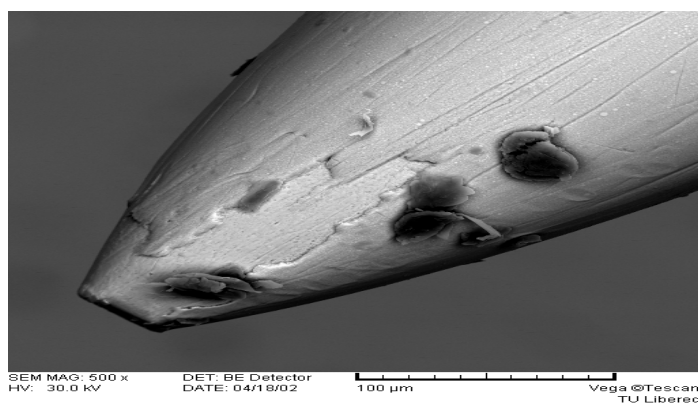


Obr. 7-47 Poškozená povrchová vrstva těla strojní šicí jehly rýhami (mikroskop Vega TS 5130)

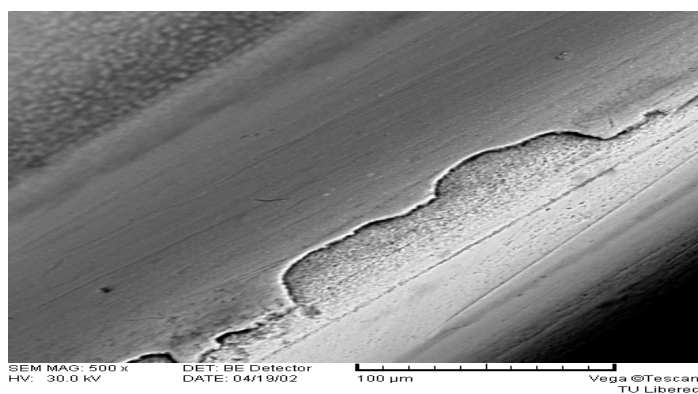
➤ *Poškození povrchové vrstvy strojní šicí jehly odloupnutím povrchové vrstvy*



Obr. 7-48 Poškozená povrchová vrstva hrotu strojní šicí jehly odloupnutím povrchové vrstvy (mikroskop Vega TS 5130)



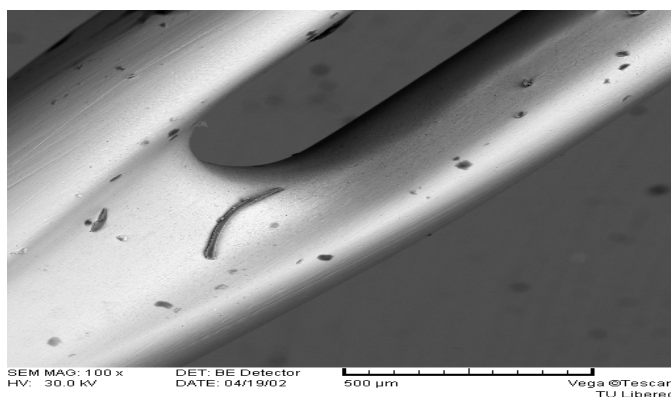
Obr. 7-49 Poškozená povrchová vrstva hrotu strojní šicí jehly odloupnutím povrchové vrstvy (mikroskop Vega TS 5130)



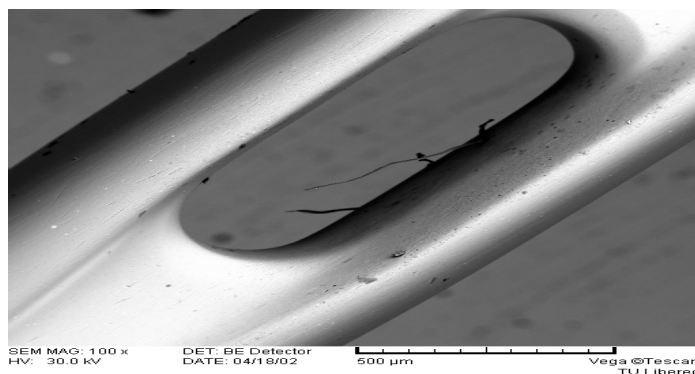
Obr. 7-50 Poškozená povrchová vrstva těla strojní šicí jehly odloupnutím povrchové vrstvy (mikroskop Vega TS 5130)



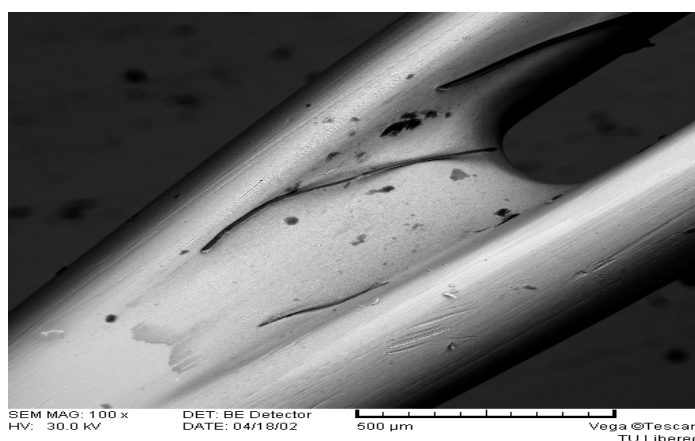
➤ *Poškození povrchové vrstvy strojní šicí jehly ulpíváním natavenin šicího a šitého materiálu na povrchové vrstvě*



Obr. 7-51 Poškozená povrchová vrstva těla strojní šicí jehly způsobená ulpíváním natavenin šicího a šitého materiálu na povrchové vrstvě (mikroskop Vega TS 5130)

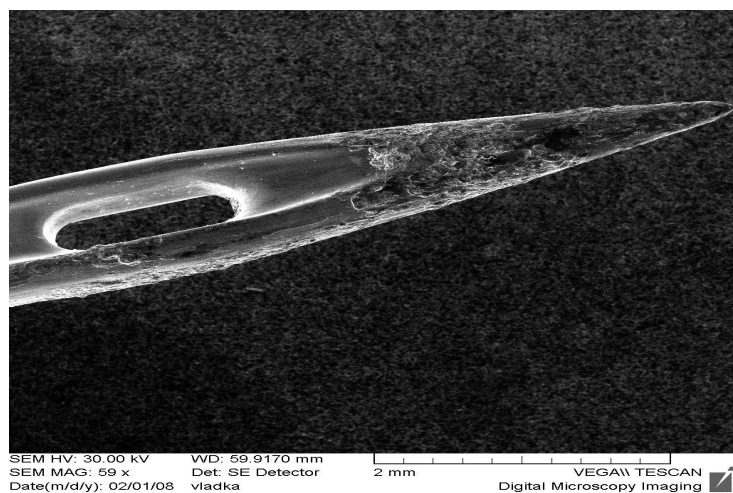


Obr. 7-52 Poškozená povrchová vrstva ouška strojní šicí jehly způsobená ulpíváním natavenin šicího a šitého materiálu na povrchové vrstvě (mikroskop Vega TS 5130)

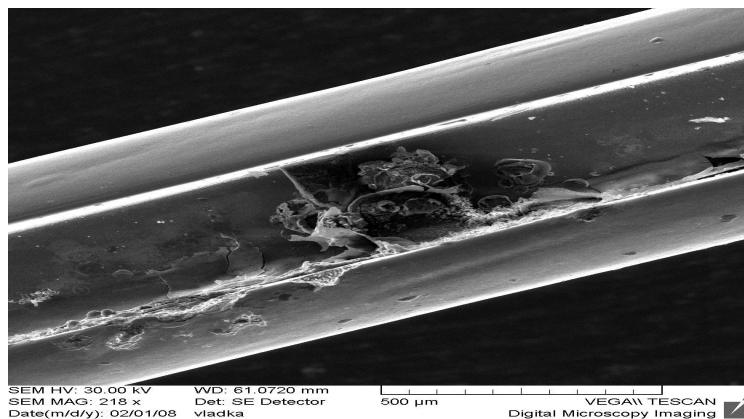


Obr. 7-53 Poškozená povrchová vrstva těla a ouška strojní šicí jehly způsobená ulpíváním natavenin šicího a šitého materiálu na povrchové vrstvě (mikroskop Vega TS 5130)

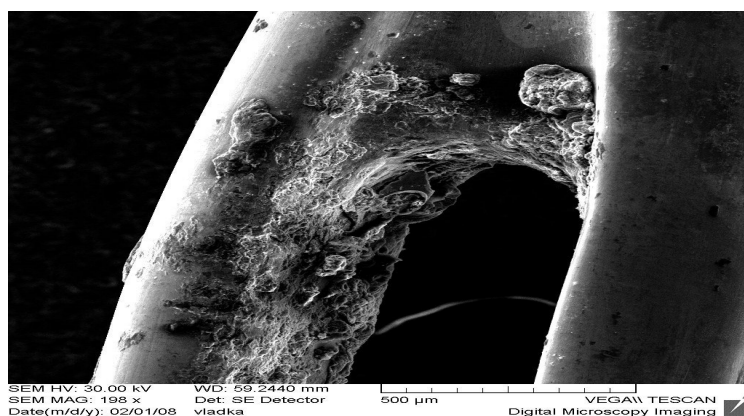
➤ *Poškození povrchové vrstvy strojní šicí jehly korozí*



Obr. 7-54 Poškození povrchové vrstvy hrotu strojní šicí jehly UV zářením a 100% vlhkostí (mikroskop Vega TS 5130)



Obr. 7-55 Poškození povrchové vrstvy těla strojní šicí jehly UV zářením a 100% vlhkostí (mikroskop Vega TS 5130)



Obr. 7-56 Poškození povrchové vrstvy ouška strojní šicí jehly UV zářením a 100% vlhkostí (mikroskop Vega TS 5130)

---

**Shrnutí výsledků hodnocení poškození povrchových vrstev strojních šicích jehel na elektronovém mikroskopu**

Z velkého počtu získaných snímků skupin opotřeбенých šicích jehel lze jednotlivé povrchové úpravy po časových etapách (po jedné směně a pěti směnách šití) hodnotit takto:

- a) Jehly s povrchovou úpravou chróm po jedné směně nevykazují známky značného opotřeбенí na svém povrchu (výrazné rýhy), viz obr. 7- 42 příloha č. 7. Je zde možné najít také zbytky ulpěných vláken z šitého textilního materiálu, a to především na snímcích ukazující detail jehel v okolí ouška, viz obr. 7-2 příloha č. 7, a detail špic obr.7-56 příloha č. 7, zde se může jednat i o ulpěné zbytky apretury nebo šitého materiálu. Na některých jehlách jsou patrné drobnější rýhy, které mohly být způsobeny při všívání polypropylenových lišt do švů automobilových sedáků. Taková to rýha je např. v horní části špičky jehly na obr. 7-1 příloha č. 7. Ze získaných snímků nebylo patrné poškození povrchových vrstev hrotů strojních šicích jehel. Z obr. 7-4 příloha č. 7 je zřejmé výrazné poškození hrotu jehly, kde došlo k odloupení povrchové vrstvy. Lze usuzovat, že tato závada vznikla při nesprávném šití nebo špatným seřazením šicího stroje a není spojena s provedením povrchové úpravy jehly.
- b) Jehly s povrchovou úpravou chromu po 5 pracovních směnách jsou uvedeny na obr. 7-7 až 7-14 a 7-43, 7-57, 7-58, 7-73, 7-74 příloha č. 7. Na snímcích opět nejsou patrné hluboké rýhy v povrchové vrstvě. Na obr. 7-8 příloha č. 7 jsou vidět drobné rýhy na celém hrotu jehly. Ze získaných snímků je již patrné poškození povrchové vrstvy hrotů strojních šicích jehel, viz obr. 7-7, 7-8, 7-11, 7-12 a 7-58 příloha č. 7. Poškození povrchové vrstvy chromu jehly, které je vidět na obr. 7-11 a 7-12 příloha č. 7, lze opět chápat, že tato závada vznikla při nesprávném šití nebo špatným seřazením šicího stroje a není spojena s provedením povrchové úpravy jehly. I na strojních šicích jehlách s chromovou povrchovou vrstvou, které byly opotřebovány 5 pracovními směnami, je možné najít zbytky ulpěných vláken z šitého textilního materiálu, a to je především vidět na snímcích obr.7-9, 7-10, 7-12, 7-13 a 7-58 příloha č. 7.
- c) Jehly s povrchovou úpravou nitridu titanu po jedné pracovní směně nevykazují hluboké povrchové rýhy viz obr.7-45. Na obr. 7-18, 7-20, 7-59 a 7-60 příloha č. 7 jsou patrné na povrchové vrstvě černé povrchové tečky, které nejdou dosti přesně identifikovat. Lze usuzovat na lokální poškození titan nitridové vrstvy. Z obr. 7-18

- příloha č. 7 je zřejmé výrazné poškození hrotu jehly, kde došlo k odloupení povrchové vrstvy. Lze opět usuzovat, že tato závada vznikla při nesprávném šití nebo špatným seřízením šicího stroje a není spojena s nekvalitním provedením povrchové úpravy jehly, jelikož hrot vykazuje známky naražení jehly při šití na jinou součást šicího stroje např. na stehovou desku. Dále je vidět na obr. 7-45, 7-60, 7-76 příloha č. 7, že nedochází k velkému ulpívání natavených částic šitého materiálu.
- d) Jehly s povrchovou úpravou nitridu titanu po 5 pracovních směnách jsou na obr. 7-21 až 7-24, 7-46, 7-47, 7-48, 7-61, 7-62 příloha č. 7. Na snímcích jsou zřejmé černé tečky, jako v předchozím případě můžeme usuzovat, že došlo k lokálnímu poškození titanu nitridové vrstvy. Na snímku obr. 7-22 příloha č. 7 (při 100x zvětšení) jsou zřetelně vidět tenké povrchové rýhy po celé povrchové vrstvě hrotu jehly. Na zvětšení 500x tyto rýhy téměř nejsou viditelné (viz obr. 7-21 příloha č. 7). Současně z obr. 7-22 a 7-47, 7-48 příloha č. 7 je opět patrné poškození povrchové vrstvy hrotu - vytrhaná vrstva nitridu titanu s výraznou nerovností povrchu. Dále jsou na snímku obr. 7-62 příloha č. 7 vidět ulpělé natavené části šitého materiálu, ale v mnohem menším rozsahu než je tomu u chromové a teflonové vrstvy.
- e) Jehly s povrchovou úpravou teflonu po jedné pracovní směně jsou uvedeny na obr. 7-27 až 7-30 a 7-63, 7-64, 7-79, 7-80 příloha č. 7. Na detailním snímku hrotu jehly, viz obr. 7-28 příloha č. 7, jsou vidět zbytky odloupenuté vrstvy teflonu, ke kterému došlo během šití. Toto opotřebení povrchové vrstvy teflonu je viditelné i pouhým okem. Tyto výsledky nasvědčují tomu, že teflonová vrstva odolává vysokým teplotám, jak je o vlastnostech teflonu obecně známé. Naopak odolnost této vrstvy proti otěru je velice nízká. Dále jsou na obr. 7-28 a 7-64, 7-80 příloha č. 7 vidět ulpělé natavené zbytky šitého materiálu. Vzhledem k tomu, že podstatou teflonové vrstvy je odolat ulpívání natavenin šitého materiálu, dá se předpokládat, že k ulpívání natavenin dochází na místech, kde došlo k poškození teflonové vrstvy, což potvrzuje snímek viz obr. 7-28 příloha č. 7.
- f) Jehly s povrchovou úpravou teflonu po 5 pracovních směnách jsou uvedeny na obr. 7-31 až 7-34 a 7-65, 7-66, 7-81, 7-82 příloha č. 7. Z obrázků je patrné, že na jehlách nezůstala téměř žádná teflonová vrstva. Na detailu hrotu jehly, viz obr. 7-32 příloha č. 7 jsou zbytky odloupenuté teflonové vrstvy a hrot obsahuje značné povrchové rýhy. Též na stvolu strojní šicí jehly je patrný zbytek teflonové vrstvy, který se nachází v dlouhé drážce, jak je vidět z obr. 7-33 příloha č. 7. Na obr. 7-34 příloha č.

- 7, v těsném okolí ouška, je zbytek teflonové vrstvy a zbytky ulpěného šitého materiálu. Ulpěné zbytky nataveného šitého materiálu jsou též patrné na obr. 7-66 příloha č. 7.
- g) Jehly s keramickou povrchovou úpravou po jedné pracovní směně nevykazují povrchové rýhy. Na obr. 7-36 příloha č. 7 jsou patrné černé povrchové tečky, které nejdou dosti přesně identifikovat, lze usuzovat na lokální poškození keramické vrstvy. Z obr. 7-50 a 7-68 příloha č. 7 je také zřejmé výrazné poškození hrotu jehly. Dále na obr. 7-67, 7-68, 7-84 příloha č. 7 je vidět mnohem menším rozsah ulpěného nataveného šitého materiálu, tak jako tomu je u strojních jehel s TiN povrchovou úpravou.
- h) Jehly s keramickou povrchovou úpravou po 5 pracovních směních jsou uvedeny na obr. 7-37, 7-38, 7-51, 7-69, 7-70, 7-85, 7-86 příloha č. 7. Z obr. 7-37, 7-51 a 7-86 příloha č. 7 je zřejmé poškození keramické povrchové vrstvy a jsou zde i znatelné rýhy. Na obr. 7-37 příloha č. 7 je vidět velké množství ulpěných natavenin na povrchu hrotu a špicí jehly. Můžeme předpokládat, že nataveniny šitého materiálu ulpívají na místech, kde došlo k porušení keramické vrstvy.
- i) Jehly s chromovou, nitrid titanovou a keramickou povrchovou vrstvou po 5 pracovních směních, UV záření a 100% vlhkosti jsou znázorněny na obr. 7-15, 7-16, 7-25, 7-26, 7-39 a 7-40 příloha č. 7. Ze snímků je zřejmé korozní poškození všech povrchových vrstev. Toto korozní poškození vlivem oxidační schopnosti prostředí je i viditelné pouhým okem. K oxidaci povrchových vrstev vlivem oxidační schopnosti prostředí došlo na místech, kde bylo velké abrazivní a adhezní opotřebení těchto vrstev vzniklé ve spojovacím procesu. Jak je vidět ze snímků výše uvedených, nejvíce jsou abrazivně a adhezně opotřebovány povrchové vrstvy na hrotech a špicích strojních šicích jehel, dále pak v oblasti ouška a dlouhé drážky strojních šicích jehel, na těchto místech se také nachází atmosférická koroze. Jak je vidět ze snímku viz obr. 7-15 a 7-16 příloha č. 7 chromová povrchová vrstva je vlivem abrazivního a adhezního nejvíce poškozena vzhledem k ostatním výše uvedeným povrchovým vrstvám, jelikož špice, hrot, část ouška a stvolu strojních šicích jehel s touto povrchovou vrstvou jsou plošně pokryty korozí. Jehly s nitrid titanovou povrchovou vrstvou jak je vidět ze snímků obr. 7-25 a 7-26 příloha č. 7 jsou vlivem abrazivního a adhezního poškozeny v oblasti hrot a v oušku strojních šicích jehel. Na těchto místech se koroze nevyskytuje plošně, ale bodově. Také u strojních šicích jehel s keramickou povrchovou vrstvou se koroze vyskytuje bodově

a to v oblasti špice a stvolu jehly viz obr.7-39 a 7- 40 příloha č. 7. Ze snímků obr.7-39 a 7- 40 příloha č. 7 také vyplývá, že tento povrch je abrazivně a adhezně nejméně poškozen.

## **7.4 Hodnocení vlivu povrchové úpravy jehly na změnu mechanických vlastností šicích nití**

Cílem experimentu bylo zjištění změny mechanických vlastností šicích nití z přírodních a syntetických materiálů vlivem povrchové úpravy jehly .

Stanovení změny mechanických vlastností šicích nití předcházelo namáhání šicích nití vlivem šicího procesu. Namáhání šicích nití bylo provedeno pomocí komplexního stanovení vlastností šicích nití - šicí schopnosti. Zkoušení šicí schopnosti šicích nití je několik. Pro tento experiment byla zvolena metoda, která vychází z několika metod. Samotné stanovení šicí schopnosti však nebylo předmětem experimentu, ale bylo provedeno s cílem zjistit vliv povrchové úpravy jehly na změnu pevnosti šicích nití. Za daných podmínek, bylo tedy třeba šicí nitě určitým způsobem poškodit, aby následným porovnáním poškozených a nepoškozených šicích nití mohla být stanovena změna mechanických vlastností šicích nití během šití vlivem opotřebení povrchové úpravy jehly.

### **7.4.1 Hodnocení vlivu povrchové úpravy jehly na šicí schopnost šicích nití**

Šicí schopností šicích nití se rozumí celková způsobilost šicí nitě zabezpečovat plynulé vytváření šitého spoje. Šicí schopnost nitě je posuzována zejména z hlediska její přetrhavosti při šití. Je charakterizována počtem přetrhů šicí nitě na danou délku materiálu a dobou přetrhu mezi dvěma přetrhy šicí nitě, [33].

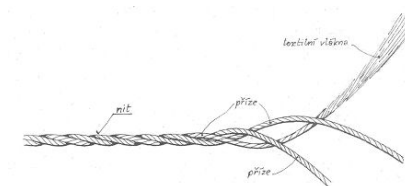
Metoda komplexního stanovení vlivu povrchové úpravy jehly na šicí schopnost šicích nití byla zvolena s ohledem na cíl doktorské práce.

Metoda byla navržena tak, aby umožnila optimální opotřebení šicích nití, které by odpovídalo běžnému procesu šití. Proces šití trval 3 minuty. Čas byl stanoven vzhledem k praktickým zkušenostem, běžná šicí operace netrvá déle než 3 minuty.

Na základě teoretických poznatků byly vymezeny parametry, které ovlivňují průběh šicího procesu. Tyto parametry se mohou rozdělit na konstantní (zkušební šicí stroj, otáčky zkušebního šicího stroje, délka stehu, jemnost šicí jehly, šitý materiál) a proměnné (povrchová úprava strojních šicích jehel, šicí nit). Zkoušky byly tedy

prováděny na šicím stroji MINERVA 72112 - 105Q a použitými šicími nitěmi byly syntetické nitě a nitě přírodní a to TRIANA - obchodní název, výrobce AMANN Sponit Trading s.r.o (bavlněná šicí nit - CO, délková hmotnost - 12,4 tex ×3), BELFIL S - obchodní název, výrobce AMANN Sponit Trading s.r.o (polyesterová šicí nit - PL, délková hmotnost - 13,8 tex ×2), SABA<sup>C</sup> - obchodní název, výrobce AMANN Sponit Trading s.r.o (jádrová šicí nit typu poly/poly - PL/PL, délková hmotnost 13,5 tex ×2).

Nit je výrobek nitěárny a vzniká skaním dvou nebo více (až devíti) přízí, které jsou upředeny z textilních vláken. Konstrukce nitě skané ze tří přízí je naznačena na obr. 7-57.

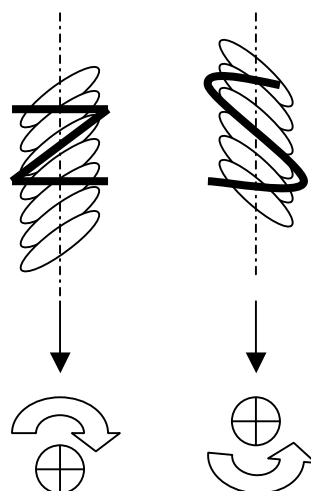


Obr. 7-57 Schéma šicí nitě [27]

Předení je textilně technologická operace, kterou se ojednocená vlákna zakrucují. Vlivem vzniklých třecích sil mezi jednotlivými vlákny, které vznikly technologickou operací předením, se navenek příze projevuje jako pevná.

Tato pevnost nitě závisí také na zákrutech. Smysl zákrutu posuzujeme podle smyslu šroubovic, které v přízi zaujímají jednotlivá zakroucená vlákna, pozorujeme-li přízi ve směru její osnovy.

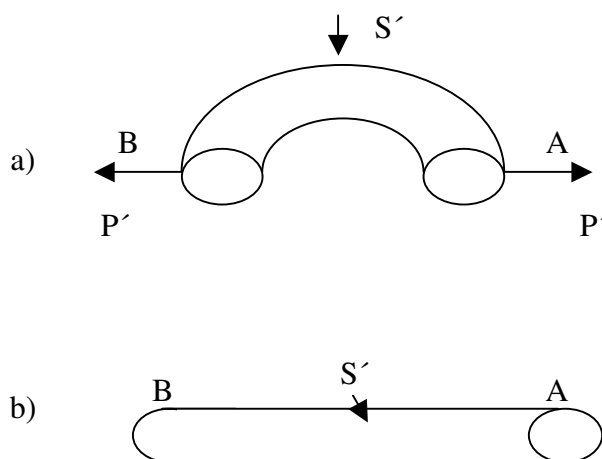
Šroubovice vytvořená jednotlivými vlákny ve smyslu kladném se nazývá pravý zákrut „Z“ a šroubovice vzniklá ve smyslu záporném se nazývá levý zákrut „S“, viz obr. 7-58.



Obr. 7-58 Schéma možností zákrutů šicích nití

Vzhledem k tomu, že šicí nit při šití z cívky na šicím stroji neodvíváme, ale stahujeme, ve spojovacím procesu se používají šicí nitě se „Z“ zákrutem.

Při odvíjení se závit nitě deformuje ve válec viz. obr. 7-59 a,b) a u příže jsou tedy zachovány všechny silové poměry, které v ní panovaly i před navinutím tz. vlastnosti šicí nitě se zachovávají (vnitřní silové poměry se nemění), kdežto při stahování nitě z cívek, které je běžným technologickým postupem při šití, je cívka nepohyblivá (u odvíjení se pohybuje) stojí a nit odstraňujeme z cívky pohybem nitě ve směru osy cívky. Tento postup má však za následek, že se ve stažené niti nezachovávají vlastnosti z hlediska vnitřního napětí a jemu odpovídajícího počtu zákrutů jako měla na cívce, tzn. vhodnost pro šití se mění.



Obr. 7-59 Schéma deformace závitů šicí nitě ve válec

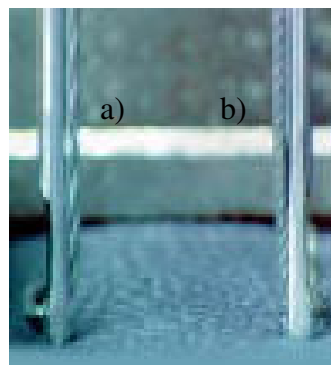
Stáhnutím závitů ve směru osy způsobem naznačeným na obr.7-60 se tedy do válcového útvaru nitě původně přímého, nezakrouceného, vloží jeden zákrut,



v tomto případě zákrut „Z“. Stahováním nitě z cívky ve směru její osy se niti se „Z“ zákruty udílejí dodatečné zákruty viz obr.7-61 b), tzn. zvyšuje se počet zákrutů na metr a tím i pevnost nitě a šicí niti, která by měla „S“zákrut naopak zákruty ubývají viz obr.7-61 a), [27].



Obr. 7-60 Stahování šicí nitě z návínu



Obr. 7-61 Šicí nit po stažení z návínu

Vzhledem k výše uvedenému je velice důležité pro stanovení vlivu povrchové úpravy strojních šicích jehel na mechanické vlastnosti šicí nitě po zašití do švu, předem stanovit i zákrut nových šicích nití TRIANA, BELFIL S a SABA<sup>C</sup> a nití po zašití do šitého materiálu.

#### 7.4.1.1 Metodika měření zákrutů šicích nití

Zjišťování počtu zákrutů u šicích nití Triana, Belfil S, Saba<sup>C</sup>, byl prováděn přímou metodou počítání zákrutů podle ČSN EN ISO 2061 na zákrutoměru Zweigle.

Zákruty byly zjišťovány u nepoužitých nití, tzn. šicích nití odebraných přímo z cívky a nití vypáraných ze švů, tzn. použitých ve spojovacím procesu. Zjištěné výsledky zákrutů jsou uvedeny v příloze č. 8. Tyto výsledky byly statisticky zpracovány a jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7.23 až 7.24.

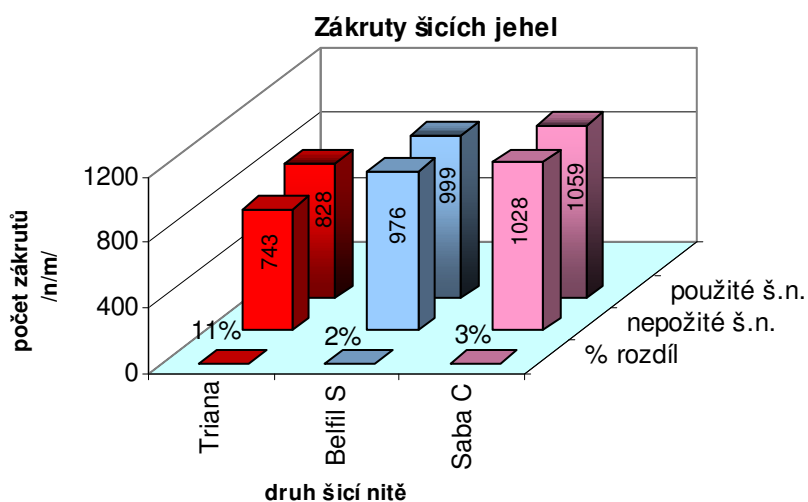
Tabulka 7.23 Zákruty nepoužité šicí nitě

Počet zákrutů $\left\lfloor \frac{n}{m} \right\rfloor$	šicí nit Triana	šicí nit Belfil S	šicí nit Saba <sup>c</sup>
$\bar{n}$	743	976	1028
$s^2$	771,73	143,82	1603,56
$s$	27,78	11,99	40,04
$v$	0,04	0,01	0,04

Tabulka 7.24 Zákruty použité šicí nitě

Počet zákrutů $\left\lfloor \frac{n}{m} \right\rfloor$	šicí nit Triana	šicí nit Belfil S	šicí nit Saba <sup>c</sup>
$\bar{n}$	828	999	1059
$s^2$	739,96	404,67	496,04
$s$	27,20	20,12	22,27
$v$	0,03	0,02	0,02

Na obr. 7-62 je uvedena závislost počtu zákrutů nepoužitých šicích nití a použitých šicích nití na druhu šicí nitě.



Obr. 7-62 Závislost počtu zákrutů na šicí niti

Měření potvrdila výše uvedený předpoklad, že vlivem stahování nití z cívky se šicí niti dodávají zákruty. U bavlněné nitě Triana (CO) stoupl počet zákrutů o 11 %, u bavlněné nitě Belfil S o 2 %, u bavlněné nitě Saba C o 3 %.

u nití polyesterových Belfil S (PL) o 2 % a u Saba<sup>C</sup> (PL/PL) o 3 %, tzn. že teoreticky by mělo dojít k zlepšení mechanických vlastností šicích nitě po zašití šicích nitě do švu.

#### 7.4.1.2 Popis experimentu zjišťování šicí schopnosti šicích nití

Experiment vychází z metodiky hodnocení šicí schopností nití KOD TU, Liberec. Byly použity nové šicí jehly a opotřebované šicí jehly a to po 1 a 5 směnách (0 směn = 0 hodin, 1 směna = 8 hodin, 5 směn = 40 hodin) s povrchovými úpravami nitridu titanu, teflonu, chrómu, keramiky a bavlněná textilie (100 % CO, vazba plátňová).

#### **Metodika KOD TU, Liberec**

Byl použit 3 m dlouhý a 0,25 m široký nekonečný pás. Po jeho obvodě byly našity v intervalu 0,5 m pruhy stejného materiálu o rozměrech 0,04 m x 0,25 m. Směr šití se prováděl pouze vpřed. Zkouška byla 5 krát opakována. Měřil se čas T [min] mezi dvěma přerhy šicí nitě. Zkoušky se prováděli při maximálních otáčkách stroje.

Vyhodnocení zkoušky bylo posuzováno podle doby mezi dvěma přerhy šicí nitě viz tab. 7.25 a zjištěné výsledky jsou uvedeny v příloze č. 9. Tyto výsledky byly statisticky zpracovány a jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7.26.

Tabulka 7.25 Hodnocení šicí schopnosti šicích nití

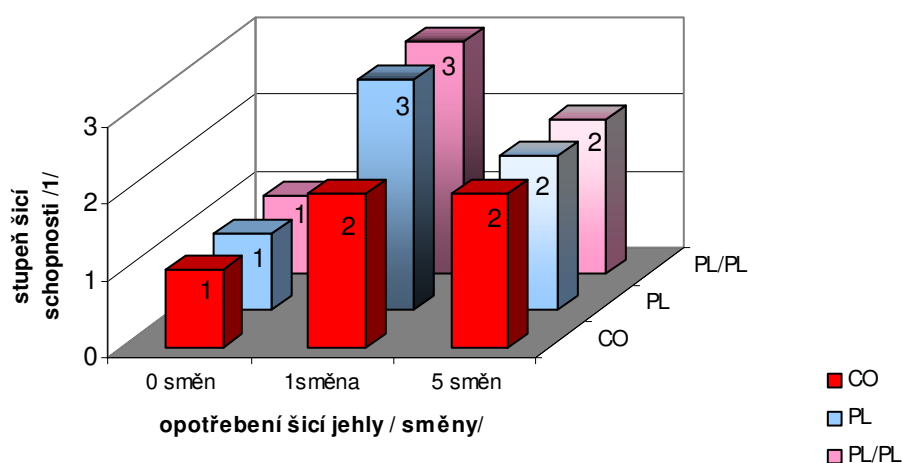
Čas mezi přerhy [min]	Hodnocení šicí schopnosti	Stupeň
3 a více	Vynikající	1
3 – 2	Vyhovující	2
0 – 2	Nevyhovující	3

Na obr.7-63 až 7-67 jsou uvedeny závislosti změny stupně šicí schopnosti šicích nití vlivem opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel, které byly vytvořeny různými technologiemi. Dále na obr. 7-68 je znázorněna závislost času mezi dvěma přerhy šicí nitě na druhu povrchové vrstvy a jejím opotřebením.

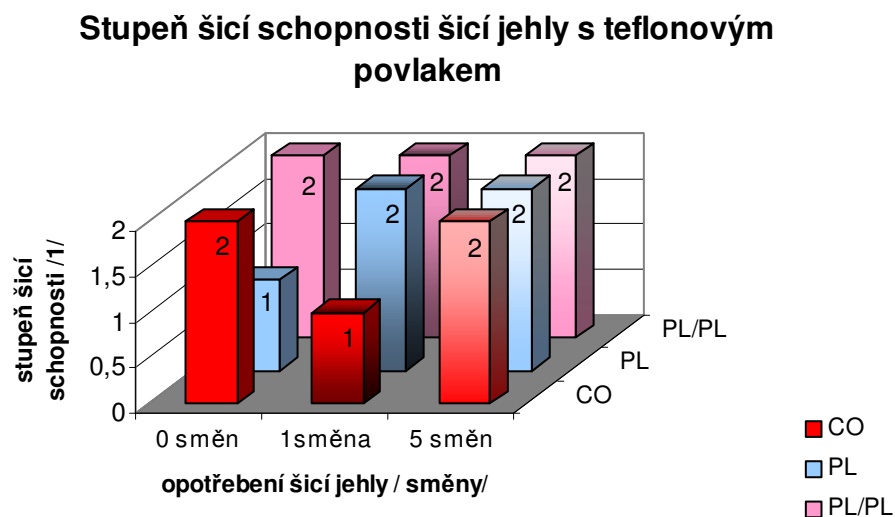
Tabulka 7.26 Naměřené hodnoty a stupeň šicí schopnosti šicích nití

Šicí materiál	Povlaky jehly	Přetrh - T [min] / opotřebení strojních šicích jehel [směny]			Stupeň šicí schopnost [1] / opotřebení strojních šicích jehel [směny]		
		0	1	5	0	1	5
CO	nitrid titan	03:00	02:50	02:56	1	2	2
CO	teflon	02:53	03:00	02:39	2	1	2
CO	chrom	01:52	02:31	03:00	3	2	1
CO	keramika	00:20	00:42	00:19	3	3	3
PL	nitrid titan	03:00	01:19	02:12	1	3	2
PL	teflon	03:00	02:58	02:43	1	2	2
PL	chrom	01:30	03:00	03:00	3	1	1
PL	keramika	02:33	01:50	02:30	2	3	2
PL/PL	nitrid titan	03:00	01:57	02:50	1	3	2
PL/PL	teflon	02:51	02:36	02:39	2	2	2
PL/PL	chrom	01:54	03:00	03:00	3	1	1
PL/PL	keramika	02:20	02:20	02:27	2	2	2

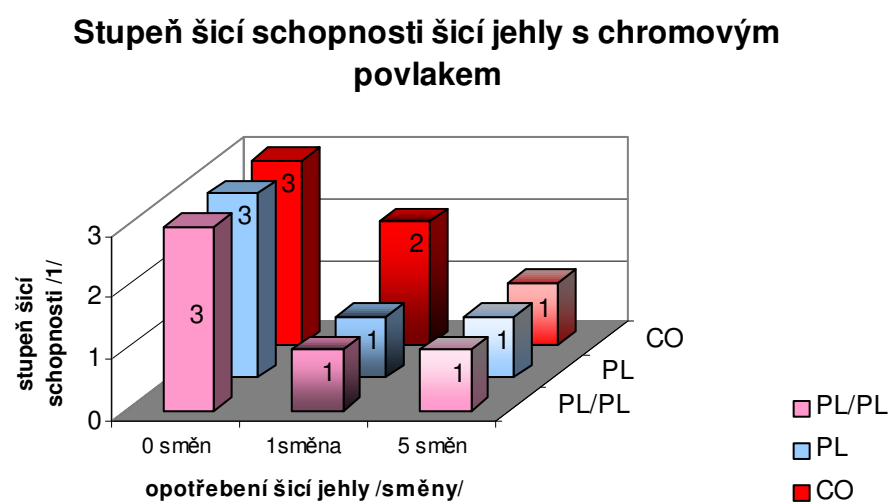
## Stupeň šicí schopnosti šicí jehly s TiN povlakem



Obr. 7-63 Závislosti šicí schopnosti šicí jehly s TiN povlakem

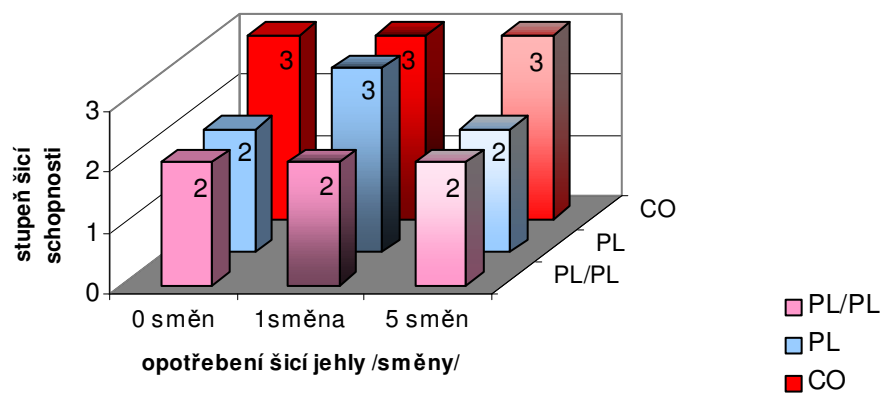


Obr. 7-64 Závislosti šicí schopnosti šicí jehly s teflonovým povlakem



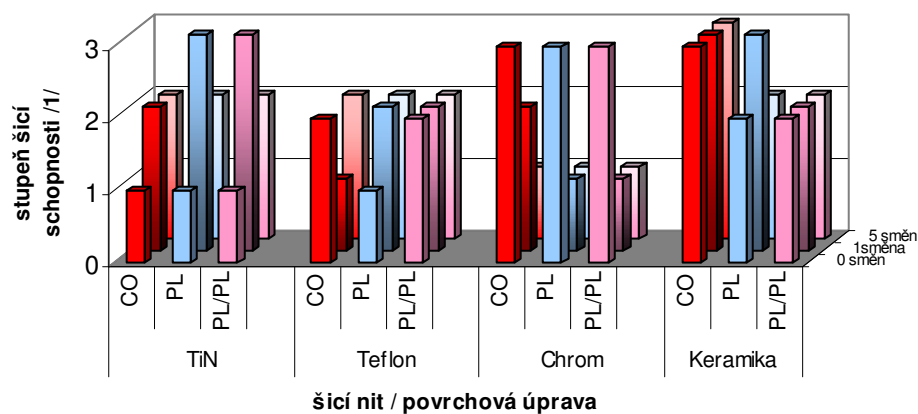
Obr. 7-65 Závislosti šicí schopnosti šicí jehly s chromovým povlakem

### Stupeň šicí schopnosti šicí jehly s keramickým povlakem

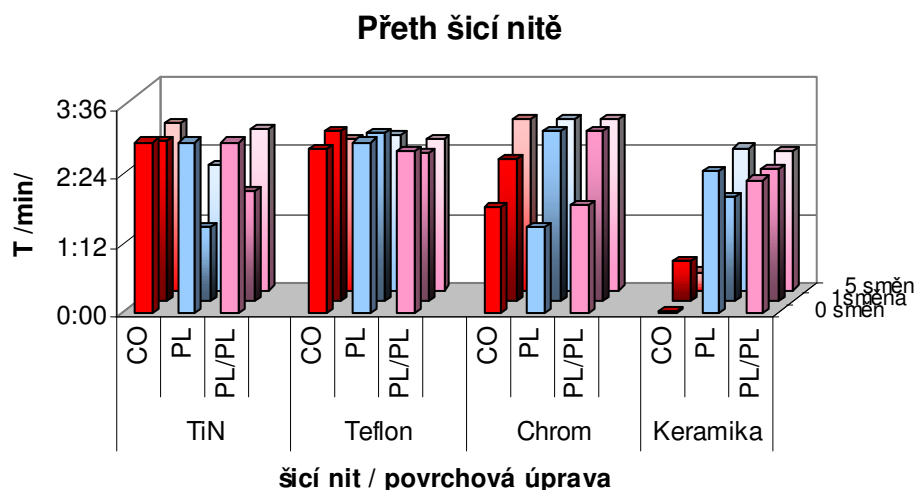


Obr. 7-66 Závislosti šicí schopnosti šicí jehly s keramickým povlakem

### Stupeň šicí schopnosti



Obr. 7-67 Závislosti stupně šicí schopnosti šicích nití na povrchových úpravách strojních šicích jehel a jejich opotřebení

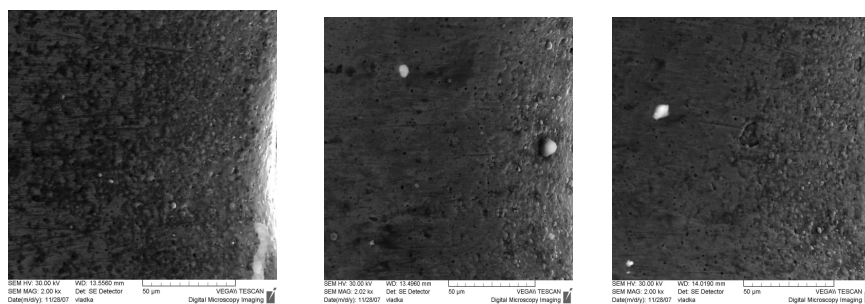


Obr. 7-68 Závislosti času do přerhu šicích nití při spojování na povrchových úpravách strojních šicích jehel a jejich opotřebení

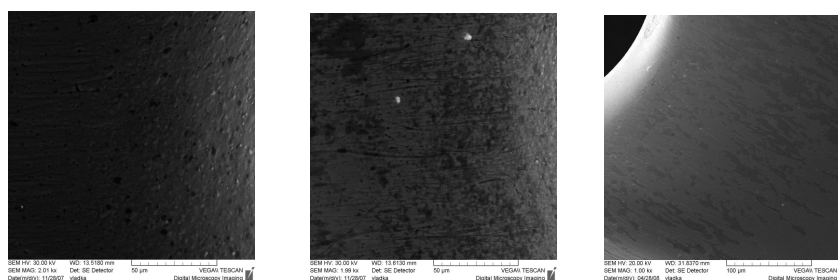
### Shrnutí výsledků hodnocení vlivu povrchové úpravy strojních šicích jehel na šicí schopnost šicích nití

Ze vzájemného porovnání stupně šicí schopnosti nití lze konstatovat, že opotřebení povrchové vrstvy strojních šicích jehel ovlivňuje kvalitu spojování. Již většina povrchových vrstev strojních šicích jehel, které nebyly použity ve výrobním procesu, nesplňuje požadavek spojovacího procesu na nepřetržité šití po dobu tří minut, kromě šicích jehel s povrchovou úpravou nitridu titanu, viz obr. 7-68. Vyhovět tomuto požadavku, šití tří minut bez přerušení, se také velice blíží i jehly s teflonovou povrchovou vrstvou, viz obr. 7-68, i když je hodnota stupně šicí schopnosti u těchto jehel rovna pouze 2 (vyhovující), jak vyplývá z grafu obr. 7-67. Toto je způsobeno drsností povrchových vrstev strojních šicích jehel viz kap.7.2.6 a obr. 7-39, kde nejmenší drsnost vykazují povrchové vrstvy TiN. Teflonový povrch strojních šicích jehel sice vykazuje nejvyšší hodnoty drsnosti viz kapitola 7.2.6 a obr. 7-25. Avšak pomocí šicího procesu bylo zjištěno, že takto vytvořený povrch strojní šicí jehly je příznivý. To lze vysvětlit tím, že vyšší profil povrchové drsnosti obsahuje zakulacený povrchový reliéf, naopak chromový povrch na strojních šicích jehlách vykazuje velkou členitost s ostrým povrchovým reliéfem. Vlivem opotřebení povrchových vrstev při spojování technických textilií dochází u strojních šicích jehel s TiN povlakem po jedné pracovní směně k zdrsnění této vrstvy viz obr. 7-71 a k následnému zvýšení stupně šicí schopnosti až na hodnotu 3 (nevyhovující) viz obr. 7.67 a obr. 7.68. Po pěti pracovních směních se opět povrchová vrstva TiN vyhladí, viz obr. 7-71, a stupeň šicí schopnosti

se opět snižuje na hodnotu 2 (vyhovující). Toto nastalo i u keramické povrchové vrstvy strojních šicích jehel viz obr.7-66, 7-67, i když nedošlo k výrazné změně stupně šicí schopnosti jako u strojních šicích jehel s povrchovou úpravou TiN. Naopak u chromové povrchové vrstvy strojních šicích jehel došlo k vyhlazení této vrstvy viz obr. 7-70 již po jedné pracovní směně a k následnému snížení stupně šicí schopnosti až na hodnotu 1 (vynikající) z hodnoty 3 (nevyhovující). Nejhorší šicí schopnost vykazují jehly s keramickým povrchem, jelikož tento povrch v oušku jehly viz obr. 7-69 je velice drsný a nedochází k jeho vyhlazení ani vlivem opotřebení vzhledem k tvrdosti této povrchové vrstvy, tzn., že jde o povrchovou vrstvu, která odolává abrazivnímu a adheznímu opotřebení a tudíž její životnost vzhledem k povrchové vrstvě je velmi vysoká, ale vzhledem k spojovacímu procesu je o něco horší než u vrstev teflonových a TiN strojních šicích jehel.

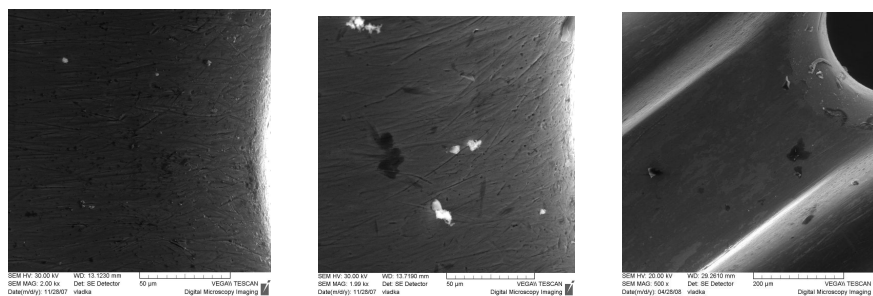


Obr. 7-69 Snímky ouška jehly s keramickým povlakem nepoužité, použité 1 směnu, použité 5 směň

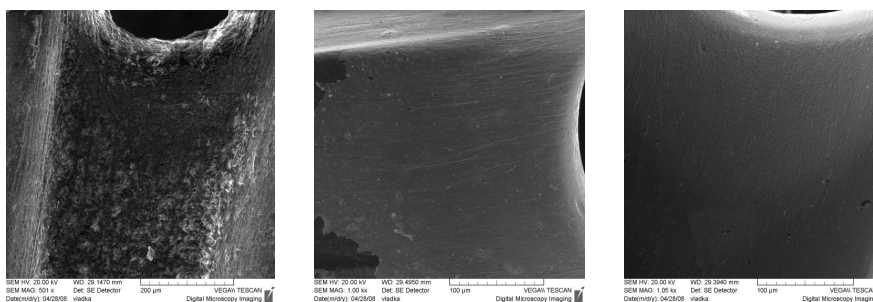


Obr. 7-70 Snímky ouška jehly s chromovým povlakem nepoužité, použité 1 směnu, použité 5 směň





Obr. 7-71 Snímky ouška jehly s TiN povlakem nepoužité, použité 1směnu, použité 5směn



Obr. 7-72 Snímky ouška jehly s teflonovým povlakem nepoužité, použité 1směnu, použité 5směn

#### 7.4.2 Vliv povrchové úpravy jehly na změnu pevnosti šicích nití ve smyčce

Změna mechanických vlastností, tedy pevnosti ve smyčce, šicích nití byla zjištěna porovnáním pevností šicích nití ve smyčce šitím nepoškozených a poškozených. Poškozené nitě byly vypárány z nekonečných pásů, na kterých byla zjišťována šicí schopnost. Nitě byly párány z předem stanovených úseků vyznačených na nekonečném páse. Jednotlivé úseky byly naznačeny tak, aby vypárané nitě obsáhly celý průběh šití, to znamená na začátku, uprostřed a na konci každého cyklu, který byl stanoven na 3 minuty. Z každého úseku byly nitě párány stejným způsobem, tedy na začátku, uprostřed a na konci vyznačené části nekonečného pásu. Délka úseku vzhledem ke zkoušce pevnosti ve smyčce byla stanovena na 25 cm. Z důvodů následného upínání vzorků do trhacího přístroje byl ke každému vzorku při páráání připočten přídavek několika centimetrů na každou stranu vyznačeného úseku 25 cm. Šicí nitě (poškozené i nepoškozené) byly postupně upevňovány do čelistí přístroje.

#### 7.4.2.1 Měření pevnosti ve smyčce šicích nití

Provádí se na trhacím stroji Lab Test, viz kap. 7.2.5. Pro měření pevnosti materiálů má mimořádně velkou důležitost tuhost rámu zkušebního přístroje, rychlost zatěžování a přesnost měření sil.

#### **Metodika měření**

Pro trhání nití ve smyčce není žádná norma, proto se vycházelo z normy ČSN EN ISO 2062 (80 0700) - zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu.

Pro zkoušení pevnosti ve smyčce šicích nití byly použity, jak již bylo výše uvedeno, šicí nitě, které byly odebrány přímo z cívky těsně po jejich výrobě (nepoužité šicí nitě). Dále šicí nitě, pomocí kterých byly vytvořeny spoje automobilových sedáků (použité šicí nitě). Tyto spoje byly vytvořeny strojními šicími jehlami, které byly použity ve spojovacím procesu po dobu 0, 1 a 5 pracovních směn. Dále byla zjištěna „teoretická“ hodnota pevnosti ve smyčce šicích nití, která by měla být vlivem zvýšení zákrutů během šití a stahování šicí nitě z návínu. Nepoužitým šicím nitím Triana, Belfil S, Saba<sup>C</sup> byly zvýšeny zákruty, viz kapitola 7.4.1.1, na hodnoty, viz tabulka 7-24, a následně byla změřena pevnost ve smyčce těchto nití. Získané hodnoty této zkoušky jsou uvedeny v příloze č. 10. Tyto hodnoty byly u všech šicích nití statisticky zpracovány a jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7.27 a 7.28. Na obr.7-73 je uvedena závislost změny pevnosti ve smyčce nepoužitých a použitých šicích nití na druhu šicí nitě a počtu zákrutů. Jelikož pevnost ve smyčce nepoužitých šicích nití je měřena u šicích nití, které jsou odebrány přímo z cívky, jak již bylo výše uvedeno, můžeme o této pevnosti ve smyčce šicích nití hovořit jako o „skutečné“ pevnosti ve smyčce šicích nití a pevnost ve smyčce šicích nití nepoužitých s přidanými zákruty jako o „teoretické“ pevnosti ve smyčce šicích nití.

Získané hodnoty zkoušky změny pevnosti ve smyčce nepoužitých a použitých šicích nití vlivem opotřebení povrchové vrstvy strojní šicí jehly jsou uvedeny též v příloze č. 10. Tyto hodnoty byly u všech šicích nití statisticky zpracovány a jsou souhrnně uvedeny v tabulce 7.29 až 7.31 a dále jsou na obr. 7- 74 až 7-78 uvedeny závislosti změny „skutečné“ a „teoretické“ pevnosti ve smyčce šicích nití vlivem opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel.

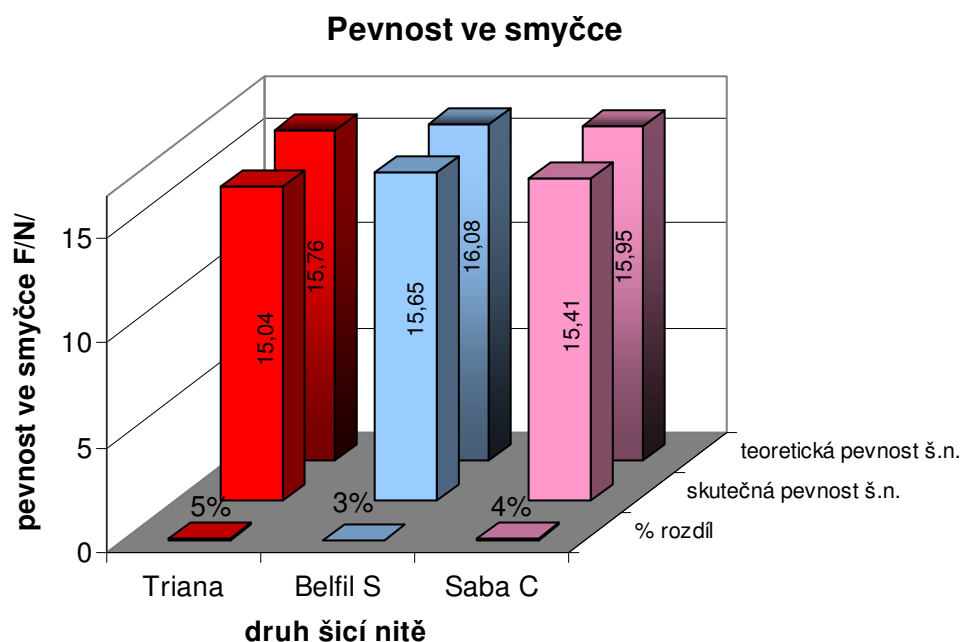
**A. Měření pevnosti ve smyčce nepoužité šicí nitě**

Tabulka 7.27 Nepoužité nitě

Šicí nit / pevnost ve smyčce	Triana	Belfil S	Saba <sup>C</sup>
$\bar{F}$ [N]	15,04	15,65	15,41
$s^2$	0,56	0,18	0,22
$s$	0,75	0,42	0,47
$v$ [1]	0,05	0,03	0,03

Tabulka 7.28 Nepoužité nitě s přidáním zákruty viz kap.7.4.1.1

Šicí nit / pevnost ve smyčce	Triana	Belfil S	Saba <sup>C</sup>
$\bar{F}$ [N]	15,76	16,08	15,95
$s^2$	0,27	0,09	0,27
$s$	0,52	0,30	0,51
$v$ [1]	0,03	0,02	0,03



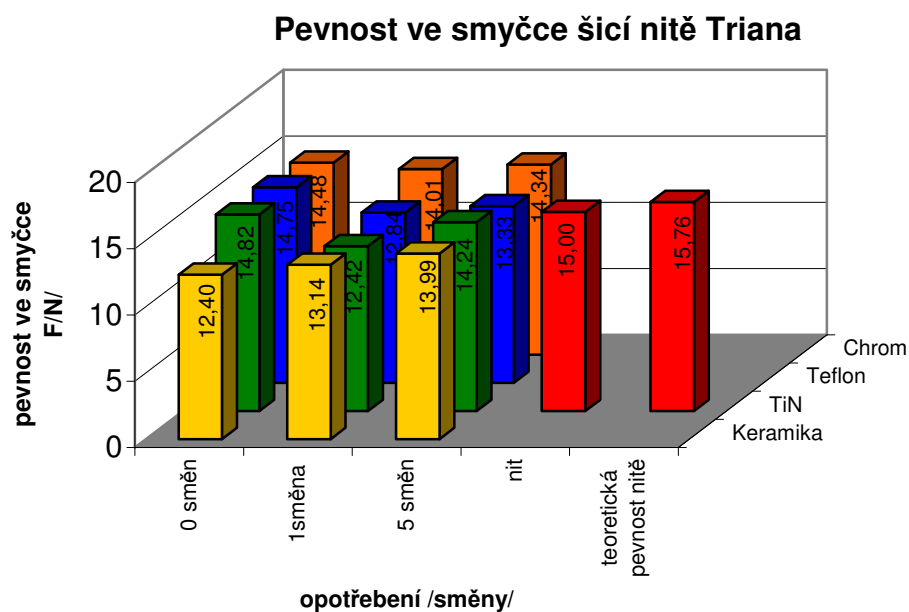
Obr. 7-73 Pevnost nepoužité šicí nitě ve smyčce a pevnost nepoužité šicí nitě ve smyčce se zvýšenými zákruty

**B. Měření pevnosti ve smyčce nití zašitých do švu nepoužitou strojní šicí jehlou (0) a jehlou použitou – 1 směna, 5 směn**

Tabulka 7.29 Šicí nit Triana

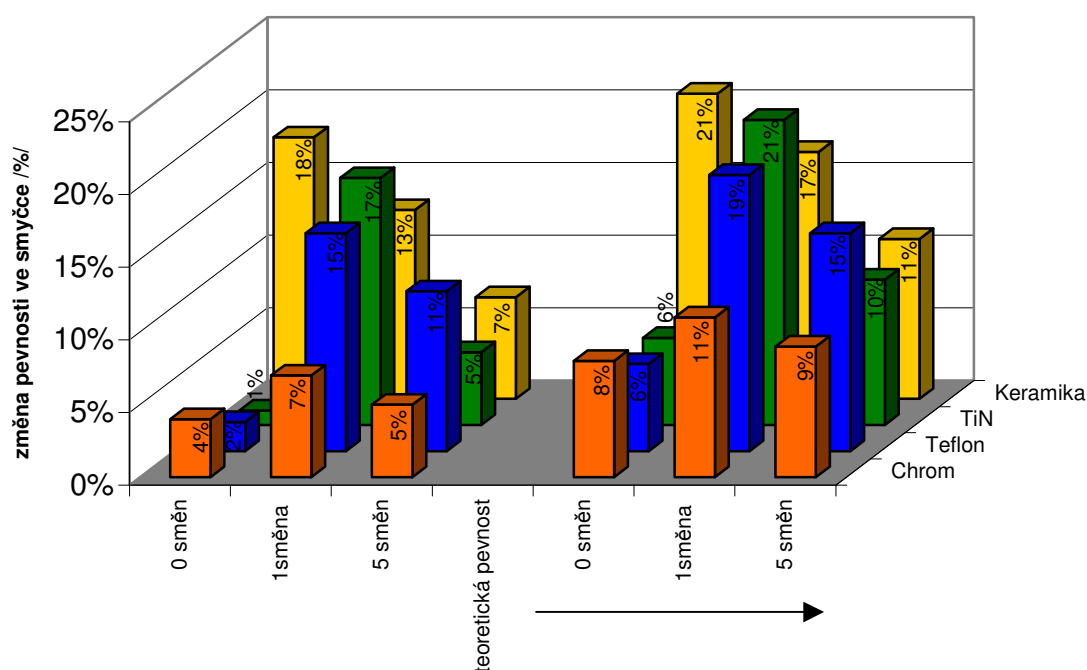
Opotřebení šicích jehel [směny]	0	s <sup>2</sup>	s	1	s <sup>2</sup>	s	5	s <sup>2</sup>	s	nit
Pevnost ve smyčce / povlak jehly	F [N]			F [N]			F [N]			F [N]
TiN	<b>14,82</b>	0,91	0,95	<b>12,42</b>	2,10	1,44	<b>14,24</b>	3,67	1,92	<b>15,04</b>
Teflonový	<b>14,75</b>	1,06	1,03	<b>12,84</b>	2,07	1,43	<b>13,33</b>	1,19	1,09	<b>15,04</b>
Chromový	<b>14,48</b>	0,81	0,90	<b>14,01</b>	0,99	0,99	<b>14,34</b>	0,18	0,42	<b>15,04</b>
Keramický	<b>12,40</b>	6,93	2,63	<b>13,14</b>	0,92	0,96	<b>13,99</b>	2,01	1,42	<b>15,04</b>

Poznámka : s<sup>2</sup> – rozptyl , s – směrodatná odchylka



Obr. 7-74 Závislost pevnosti ve smyčce šicí nitě Triana na povrchové úpravě šicí strojní jehly a druhu opotřebení

## Pevnost ve smyčce - Triana



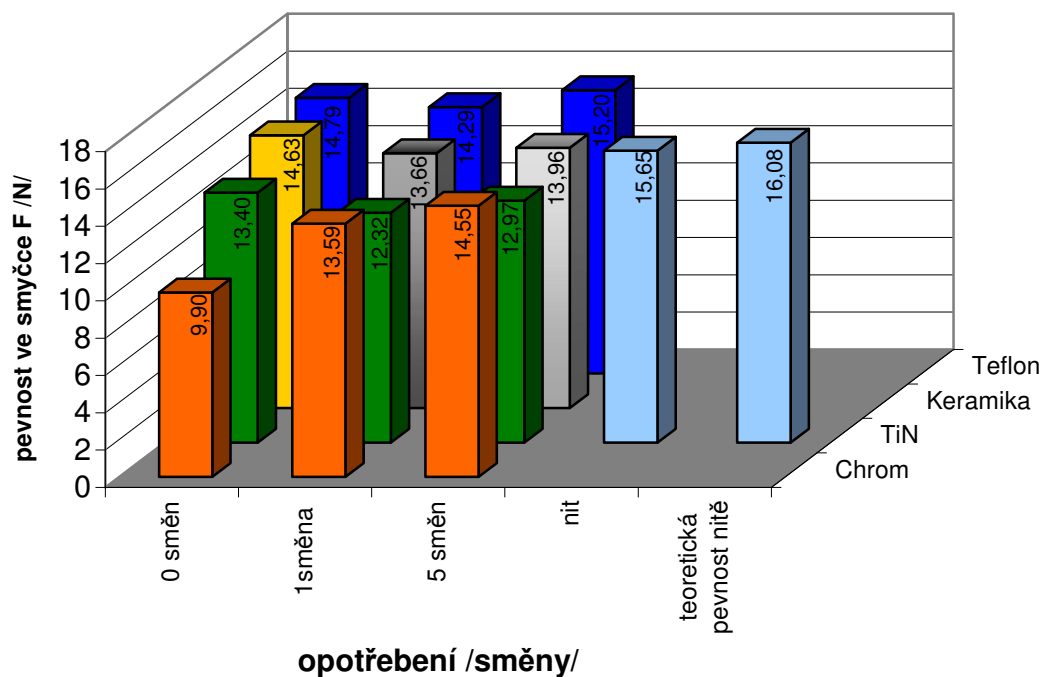
Obr. 7-75 Procentuální závislost změny pevnosti ve smyčce šicí nitě Triana na povrchové úpravě šicí strojní jehly a druhu opotřebení

Tabulka 7.30 Šicí nit Belfil S

Opotřebení šicích jehel [směny]	0	$s^2$	s	1	$s^2$	s	5	$s^2$	s	nit
Pevnost ve smyčce / povlak jehly	F [N]			F [N]			F [N]			F [N]
TiN	<b>13,40</b>	6,15	2,48	<b>12,32</b>	5,24	2,29	<b>12,97</b>	0,91	0,95	<b>15,65</b>
Teflonový	<b>14,79</b>	0,86	0,93	<b>14,29</b>	1,77	1,33	<b>15,20</b>	0,87	0,94	<b>15,65</b>
Chromový	<b>9,90</b>	2,85	1,68	<b>13,59</b>	5,17	2,27	<b>14,55</b>	4,48	2,12	<b>15,65</b>
Keramický	<b>14,63</b>	1,19	1,09	<b>13,66</b>	0,93	0,96	<b>13,96</b>	0,82	0,90	<b>15,65</b>

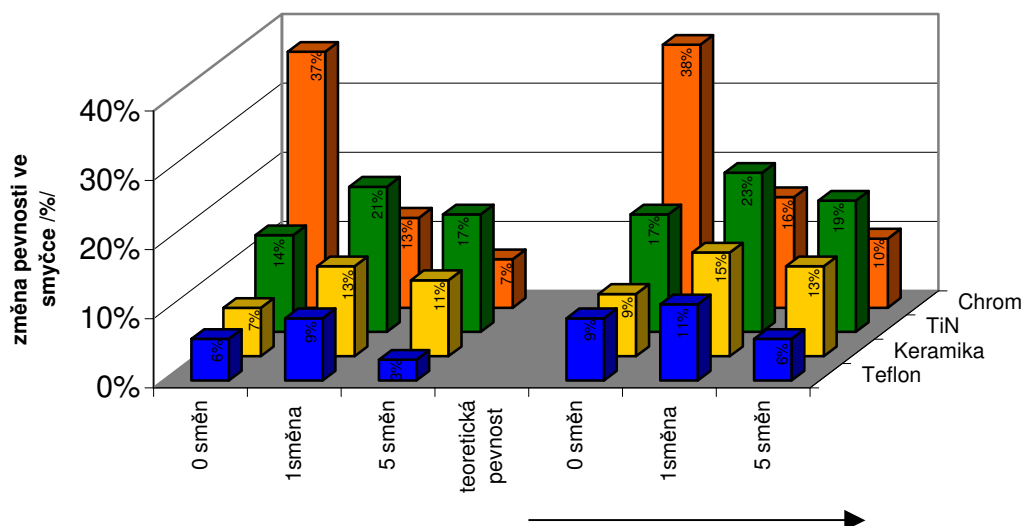
Poznámka:  $s^2$  – rozptyl, s – směrodatná odchylka

### Pevnost ve smyčce šicí nitě Belfil S



Obr. 7-76 Závislost pevnosti ve smyčce šicí nitě Belfil S na povrchové úpravě šicí strojní jehly a druhu opotřebení

### Pevnost ve smyčce - Belfil S

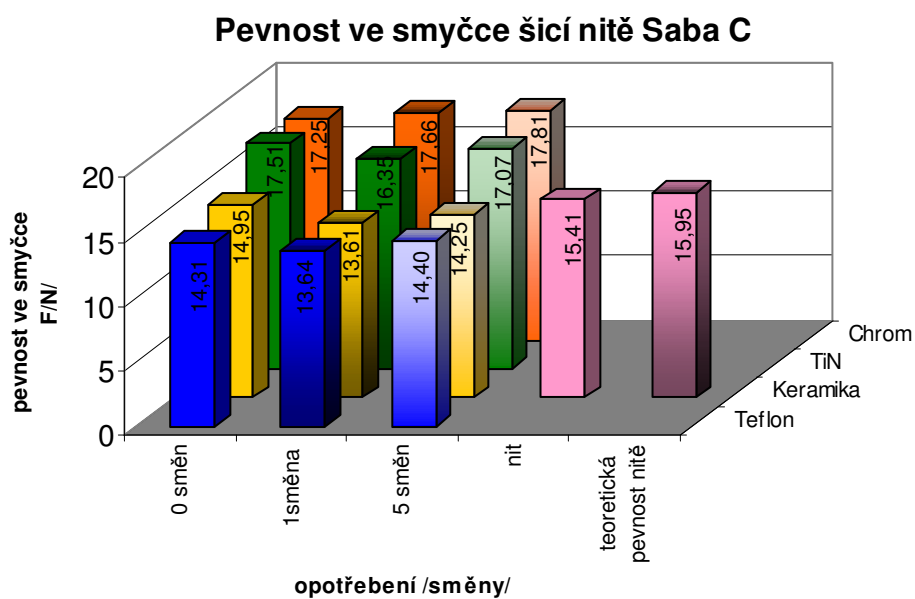


Obr. 7-77 Procentuální závislost změny pevnosti ve smyčce šicí nitě Belfil S na povrchové úpravě šicí strojní jehly a druhu opotřebení

Tabulka 7.31 Šicí nit Saba<sup>C</sup>

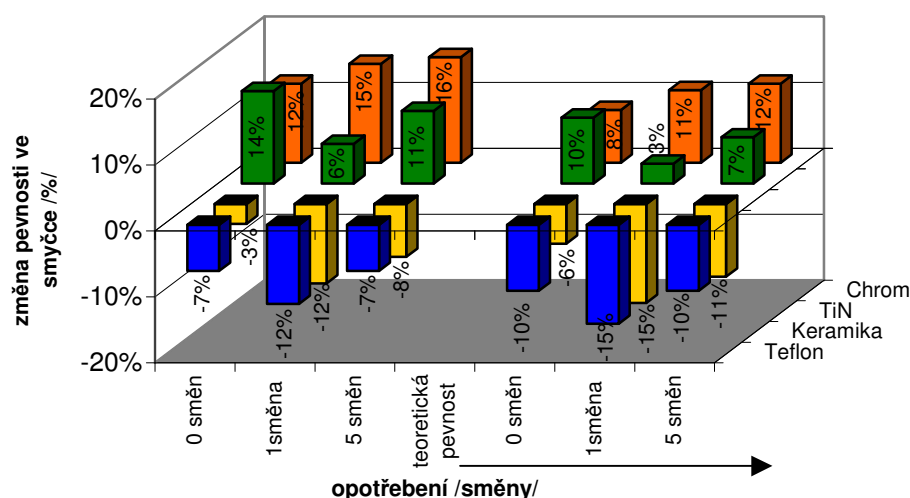
Opotřebení šicích jehel [směny]	0	s <sup>2</sup>	s	1	s <sup>2</sup>	s	5	s <sup>2</sup>	s	nit
Pevnost ve smyčce / povlak jehly	F [N]			F [N]			F [N]			F [N]
TiN	<b>17,51</b>	0,34	0,58	<b>16,35</b>	0,58	0,76	<b>17,07</b>	0,04	0,20	<b>15,41</b>
Teflonový	<b>14,31</b>	1,77	1,33	<b>13,64</b>	2,56	1,60	<b>14,40</b>	3,59	1,90	<b>15,41</b>
Chromový	<b>17,25</b>	0,66	0,81	<b>17,66</b>	1,25	1,12	<b>17,81</b>	0,84	0,91	<b>15,41</b>
Keramický	<b>14,95</b>	1,41	1,19	<b>13,61</b>	0,16	0,40	<b>14,25</b>	0,99	0,99	<b>15,41</b>

Poznámka: s<sup>2</sup> – rozptyl, s – směrodatná odchylka



Obr. 7-78 Závislost pevnosti ve smyčce šicí nitě Saba<sup>C</sup> na povrchové úpravě šicí strojní jehly a druhu opotřebení

### Pevnost ve smyčce - Saba C



Obr. 7-79 Procentuální závislost změny pevnosti ve smyčce šicí nitě Saba<sup>C</sup> na povrchové úpravě šicí strojní jehly a druhu opotřebení

#### Shrnutí výsledků měření změny pevnosti šicích nití ve smyčce vlivem opotřebení povrchové úpravy strojních šicích jehel

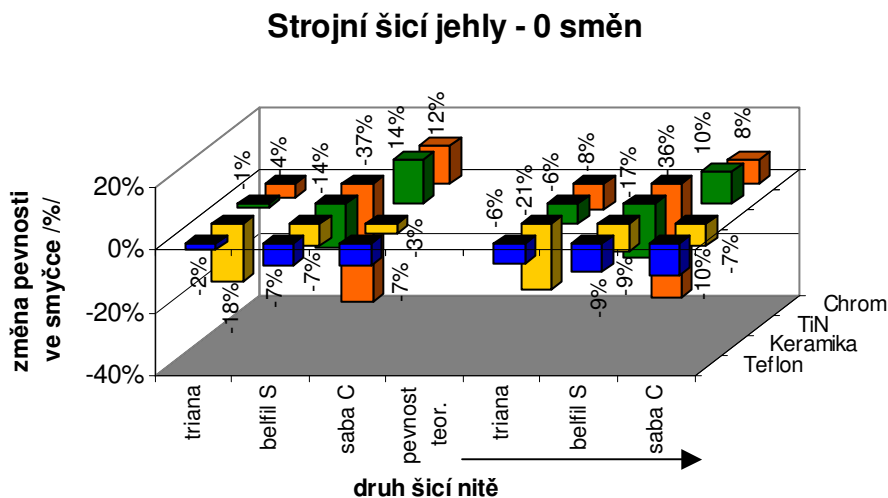
Měřením pevnosti ve smyčce šicí nitě byly sledovány změny této mechanické vlastnosti šicí nitě vlivem opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel po zašití do švu. Pro experiment byly opět použity šicí nitě ze 100% bavlny Triana (CO), 100 % polyesteru Belfil S (PL) a polyesterová jádrová šicí nit Saba<sup>C</sup> (PL/PL).

Nejprve bylo nutno naměřit hodnoty pevnosti ve smyčce šicích nití nepoužitých - ve spojovacím procesu viz tab. 7.27 a graf obr. 7-73. Vzhledem k tomu, že šicí nit při šití na šicím stroji z cívky neodvíváme, ale stahujeme viz kapitola 7.4.1 dochází k dodání zákrutů šicí niti a tudíž i ke změně pevnosti této nitě ve smyčce, tzn. s rostoucím počtem zákrutů roste i pevnost šicí nitě. Dále je tedy také nutné zjistit tzv. teoretickou pevnost šicí nitě ve smyčce, viz kap. 7.4.2.1 tabulka 7.28. Měření potvrdila předpoklad, že jsou během šití šicí niti dodány zákruty, toto ovlivňuje i pevnost ve smyčce šicí nitě a to tak, že by mělo dojít ke zvýšení pevnosti ve smyčce u šicí nitě CO o 5 %, PL o 3 % a PL/PL o 4 % viz graf obr. 7-73, ale měření pevnosti šicí nitě ve smyčce opět prokázaly vliv technologie vytvoření povrchové vrstvy strojních šicích jehel na kvalitu spoje. Již nové jehly s povrchovou úpravou TiN, teflonu, chrómu



a keramiky měly vliv na změnu pevnosti ve smyčce šicích nití a to tak, že došlo u šicích nití CO a PL ke snížení pevnosti ve smyčce šicích nití vzhledem k hodnotě pevnosti ve smyčce nových šicích nití a i k hodnotě teoretické pevnosti ve smyčce šicích nití, viz grafy obr. 7-74 a 7-76, tzn. pevnost ve smyčce 15,04N nové šicí nitě CO vlivem TiN povlaku jehly se snížila na hodnotu 14,82 N - snížení o 1 %, teflonového povlaku jehly na hodnotu 14,75 N - snížení o 2 %, chromového povlaku jehly na hodnotu 14,48 N - snížení o 4 % a keramického povlaku jehly na hodnotu 12,40 N - snížení o 18 %. U šicí nitě PL došlo ke snížení pevnosti ve smyčce z hodnoty 15,65 N nové šicí nitě vlivem TiN povlaku jehly na hodnotu 13,40 N - snížení o 14 %, teflonového povlaku jehly na hodnotu 14,79 N - snížení o 7%, chromového povlaku jehly na hodnotu 9,90 N - snížení o 37 % a keramického povlaku jehly na hodnotu 14,63 N- snížení o 7 %. Vzhledem k předpokladu, že pevnost ve smyčce se vlivem spojovacího procesu měla zvýšit, snížení pevnosti je ve skutečnosti o něco větší, viz grafy obr. 7-75 a 7-77. Dále vlivem povrchových keramických a teflonových úprav strojních šicích jehel došlo u šicí nitě PL/PL ke snížení pevnosti ve smyčce šicí nitě vzhledem k hodnotě skutečné i teoretické nové šicí nitě viz graf obr. 7-79, tzn. z pevnosti ve smyčce 15,41 N nové šicí nitě vlivem keramického povlaku jehly se snížila pevnost ve smyčce na hodnotu 14,95 N- snížení o 3 % a teflonového povlaku jehly na hodnotu 14,31 N - snížení o 7 %, vzhledem k teoretické hodnotě pevnosti, která činí 15,95 N je opět snížení o něco větší viz graf obr. 7-79. Nové jehly s TiN a chromovým povlakem pevnost této šicí nitě nesnížily a podle předpokladu pevnost ve smyčce této nitě vzrostla vzhledem k pevnosti ve smyčce nové šicí niti, a to u strojních šicích jehel s TiN povlakem o 14 %, s chromovým povlakem o 12 %. Tyto hodnoty jsou dokonce vyšší než byla předpokládaná teoretická pevnost ve smyčce nové niti PL/PL, viz graf obr. 7-79. I u této šicí nitě dochází vlivem drsnosti povrchu jehly k přetržení vláken šicích nití, viz kap. 7.1.4, což má za následek snížení pevnosti šicích nití ve smyčce, ale jelikož má tato šicí nit jinou konstrukci, než předchozí šicí nitě, došlo vlivem této konstrukce k předpokládanému zvýšení pevnosti šicí nitě ve smyčce a nikoliv ke snížení. Konstrukce této nitě je založena na tom, že pevnost šicí nitě zajišťuje jádro šicí nitě, které je tvořené jedním nekonečným polyesterovým vláknem (PL - hedvábí), které má vysokou pevnost a obal s polyesterové stříže chrání toto jádro a napodobuje šicí vlastnosti šicích nití z přírodních materiálů, které odolávají tepelnému namáhání, ale mají nižší pevnost, tzn. dojde-li vlivem drsnosti povrchové vrstvy jehly k porušení vláken obalu, pevnost nemusí zákonitě

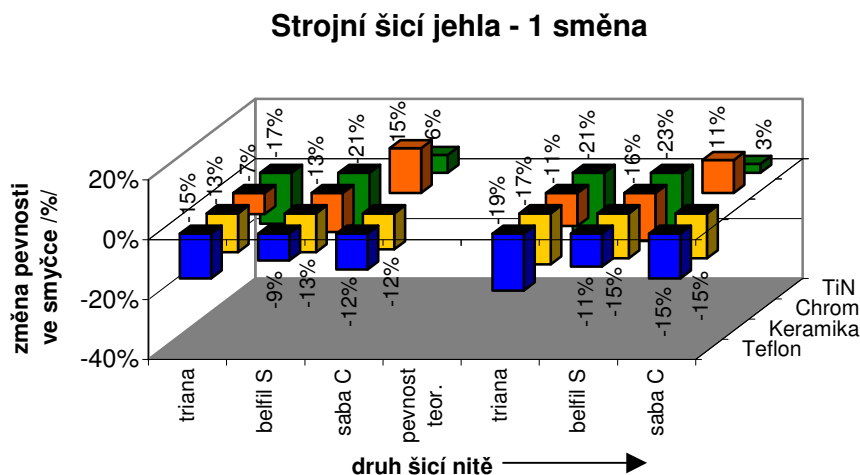
klesat a naopak se potvrzuje teorie, že vlivem stahování šicí nitě z cívky se zákruty přidaly a pevnost ve smyčce se zvýšila viz obr.7-80



Obr. 7-80 Procentuální závislost změny pevnosti ve smyčce šicí nitě na povrchové úpravě šicí strojní jehly a druhu šicí nitě

Vlivem opotřebení povrchových vrstev ve spojovacím procesu po dobu jedné pracovní směny, což je 8 hodin, dochází k zdrsnění povrchových vrstev především abrazivním a adhezním opotřebením povrchových vrstev strojních šicích jehel v oušku jehel. Vlivem drsnosti povrchových vrstev strojních šicích jehel dochází k destrukci vláken šicí nitě, což má za následek značné snížení pevnosti ve smyčce šicí nitě a to u šicí nitě CO a PL vzhledem k hodnotě pevnosti ve smyčce nové nitě a i k hodnotě teoretické pevnosti ve smyčce šicí nitě, viz obr. 7-81, tzn. z pevnosti ve smyčce 15,04 N nové šicí nitě CO vlivem TiN povlaku jehly na hodnotu 12,42 N - snížení o 17 %, teflonového povlaku jehly na hodnotu 12,84 N - snížení o 15 %, chromového povlaku jehly na hodnotu 14,01 N - snížení o 7 % a u šicí nitě PL z pevnosti ve smyčce 15,65 N nové šicí nitě vlivem TiN povlaku jehly na hodnotu 12,32 N - snížení o 21 %, teflonového povlaku jehly na hodnotu 14,29 N - snížení o 9 % a keramického povlaku jehly na hodnotu 13,66 N - snížení o 13 %. Vzhledem k předpokladu, že pevnost ve smyčce se vlivem spojovacího procesu měla zvýšit, snížení pevnosti je ve skutečnosti opět o něco větší, viz obr. 7-81. U strojních šicích jehel s chromovým povlakem došlo vlivem abrazivního a adhezního opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel v oušku jehel ve spojovacím procesu k vyhlazení povrchové vrstvy a pevnost naopak u šicí nitě PL se snížila jen na hodnotu 13,59 N oproti nové strojní šicí

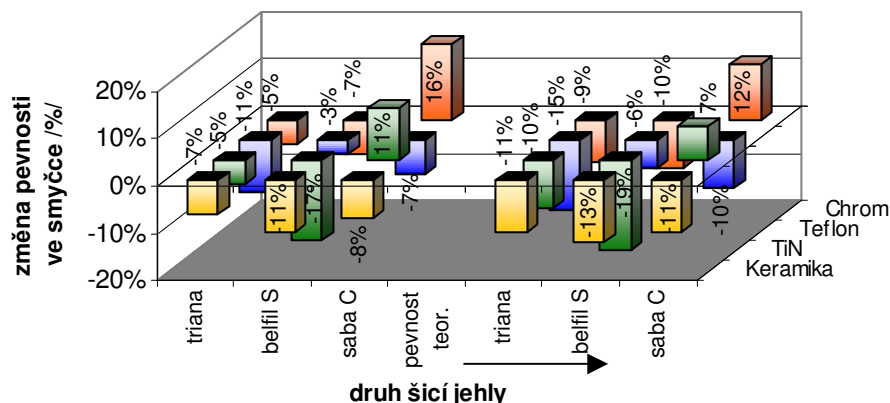
jehle s chromovým povlakem, která snížila pevnost ve smyčce šicí nitě až na hodnotu 9,90 N, ale stále je tato hodnota o 13 % menší než je pevnost ve smyčce nové šicí nitě a o 16% vzhledem k teoretické pevnosti této nitě. Také u strojních šicích jehel s keramickým povlakem došlo vlivem abrazivního a adhezního opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel v oušku jehel ve spojovacím procesu k vyhlazení povrchové vrstvy, což se projevilo u šicí nitě CO tím, že se pevnost ve smyčce zvedla na hodnotu 13,14 N z hodnoty 12,40N, na kterou se snížila pevnost ve smyčce šicí nitě vlivem drsnosti povrchu nových strojních šicích jehel s keramickým povlakem, ale i tato hodnota je stále o 13 % menší než je pevnost ve smyčce nové nitě a o 17 % vzhledem k teoretické pevnosti této nitě. Vlivem strojních šicích jehel s keramickým a teflonovým povlakem došlo u šicí nitě PL/PL ke snížení pevnosti ve smyčce šicí nitě vzhledem k hodnotě skutečné i teoretické nové šicí nitě viz 7-78 a to z pevnosti ve smyčce 15,41 N nové šicí nitě vlivem keramického povlaku jehly na hodnotu 13,61 N - snížení o 12 % a teflonového povlaku jehly na hodnotu 13,64 N - snížení o 12 %. Vzhledem k teoretické hodnotě pevnosti této šicí nitě, která činí 15,95N je opět snížení o něco větší, viz obr.7-79, 7-81. Vlivem strojních šicích jehel s TiN povlakem opotřebeným 8 hodinami se pevnost ve smyčce této šicí nitě snížila na hodnotu 16,35 N oproti hodnotě pevnosti ve smyčce této šicí nitě, která vlivem nové jehly s TiN povlakem měla hodnotu 17,51 N, ale stále je tato hodnota o 6 % vyšší než je pevnost ve smyčce nové šicí nitě a o 3 % vyšší než teoretická hodnota této šicí nitě viz obr. 7-81. U strojních šicích jehel s chromovým povlakem, vlivem vyhlazení povrchu dochází u šicí nitě PL/PL, tak jako u šicí nitě PL, k nárůstu pevnosti ve smyčce na hodnotu 17,66 N, což znamená zvýšení o 15% oproti pevnosti nové šicí nitě a o 11 % k teoretické hodnotě pevnosti této šicí nitě, viz obr. 7.81.



Obr. 7-81 Procentuální závislost změny pevnosti ve smyčce šicí nitě na povrchové úpravě šicí strojní jehly a druhu šicí nitě

Vlivem abrazivního a adhezního opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel v oušku jehel ve spojovacím procesu po dobu pěti pracovních směn, což je 40 hodin, dochází k vyhlazení povrchových vrstev strojních šicích jehel a to vede ke zvýšení pevnosti ve smyčce u všech použitých šicích nití vzhledem k hodnotám pevnosti ve smyčce šicích nití, které byly zašity do spoje auto-sedáků strojními šicími jehlami s opotřebovanými povrchovými vrstvami ve spojovacím procesu po dobu jedné směny. Tato zvýšení pevnosti ve smyčce, ale nepřekročila pevnosti nových šicích nití (CO, PL, PL/PL), pouze opět u povrchových vrstev nitridu titanu a chrómu se hodnoty pevnosti ve smyčce u šicí nitě PL/PL pohybují nejenom nad hodnotou pevnosti ve smyčce nové nitě, ale i nad hodnotou teoretickou této nitě. U šicí nitě CO se pevnost ve smyčce z hodnoty 15,04 N nové šicí nitě změnila vlivem povrchové vrstvy TiN na hodnotu 14,24N - snížení o 5 %, teflonu na hodnotu 13,33 N - snížení 11 %, chrómu na hodnotu 14,34N - snížení o 5 % a keramiky na hodnotu 13,99 N - snížení 7 %. U šicí nitě PL se pevnost ve smyčce z hodnoty 15,65N nové šicí nitě změnila vlivem povrchové vrstvy TiN na hodnotu 12,97 N - snížení o 17 %, teflonu na hodnotu 15,20 N - snížení 3 %, chrómu na hodnotu 14,55 N - snížení o 7 % a keramiky na hodnotu 13,96 N - snížení 11 %. U šicí nitě PL/PL se pevnost ve smyčce z hodnoty 15,41 N nové šicí nitě změnila vlivem povrchové vrstvy TiN na hodnotu 17,07 N - zvýšení o 11 %, teflonu na hodnotu 14,40 N - snížení 7 %, chrómu na hodnotu 17,81 N - zvýšení o 16 % a keramiky na hodnotu 14,25 - snížení 8 %.

### Strojní šicí jehly - 5 směn



Obr. 7-82 Procentuální závislost změny pevnosti ve smyčce šicí nitě na povrchové úpravě šicí strojní jehly a druhu šicí nitě

Vzhledem k předpokladu, že mělo dojít během spojovacího procesu automobilových sedáků ke zvýšení pevnosti ve smyčce šicích nití vlivem zvýšení zákrutů šicí nitě při stahování šicí nitě z cívky, viz kap.7.4.1, ve spojovacím procesu, došlo většinou vlivem změny drsnosti povrchových vrstev strojních šicích jehel ke snížení této pevnosti oproti hodnotě pevnosti ve smyčce nepoužitých šicích nití a toto snížení bylo mnohem větší, vezmeme-li v úvahu teoretickou pevnost šicích nití, viz obr. 7-80, 7-81 a 7-82, pouze u šicí nitě PL/PL, která byla zašita do spoje opotřebovanými strojními šicími jehlami s TiN a chromovým povlakem došlo ke zvýšení pevnosti ve smyčce, viz obr. 7-80, 7-81 a 7-82. Toto bylo způsobeno, jak již bylo výše uvedeno, zvláštní konstrukcí této nitě.

Z naměřených hodnot dále vyplývá, že povrchové vrstvy strojních šicích jehel TiN a keramika, vytvořené PVD technologií, se jeví vzhledem k životnosti povlaku jako nejlepší. Jehly s povrchovou vrstvou teflonu, která byla vytvořena radikálovou polymerací, by měly vykazovat nejvyšší vliv na pevnost šicí nitě ve smyčce, vzhledem k drsnosti ouška jehly s teflonovým povrchem viz kap.7.2.6, ale je tomu naopak. Výsledky jsou srovnatelné s výsledky strojních šicích jehel s keramickým povlakem, toto bylo způsobeno rychlým opotřebováním teflonového povlaku v oušku jehly a po velmi krátké době nebudeme hodnotit vlastnosti teflonového povlaku, ale vlastnosti základního materiálu a jelikož povrchové vrstvy keramiky mají tloušťku velmi malou, a to v mikrometrech, dá se předpokládat, že geometrie těchto povrchů bude tedy stejná

nebo velmi podobná základnímu materiálu, a proto jsou hodnoty změny pevnosti ve smyčce šicích nití vlivem keramického povlaku podobné jako u povlaku teflonového.

Měření změny pevnosti ve smyčce šicích nití vlivem opotřeбенých vrstev strojních šicích jehel opět prokázaly, že chromová povrchová vrstva vytvořená galvanickou metodou odolává abrazivnímu a adheznímu opotřeбенí méně než vrstvy vytvořené PVD metodou a nejméně odolávají vrstvy vytvořené radikálovou polymerací.

#### 7.4.3 Celkové hodnocení vlivu povrchové úpravy strojní šicí jehly na změnu mechanických vlastností šicích nití

Hlavním cílem zkoušek této kapitoly bylo zjistit změnu mechanických vlastností šicích nití z přírodních a syntetických materiálů vlivem změny povrchových úprav strojních šicích jehel způsobené opotřeбенím těchto povlaků ve spojovacím procesu při spojování technických textilií v automobilovém průmyslu. Samotné stanovení změny mechanických vlastností šicích nití není předmětem této disertační práce, ale bylo provedeno s cílem zjistit vliv opotřeбенí povlaků strojních šicích jehel vlivem namáhání těchto povlaků ve spojovacím procesu při šití automobilových sedáku na životnost těchto povlaků, viz kap. 2. Předpokládá se, že vlastnosti šicích nití se po zašití šicích nití do švu nezmění.

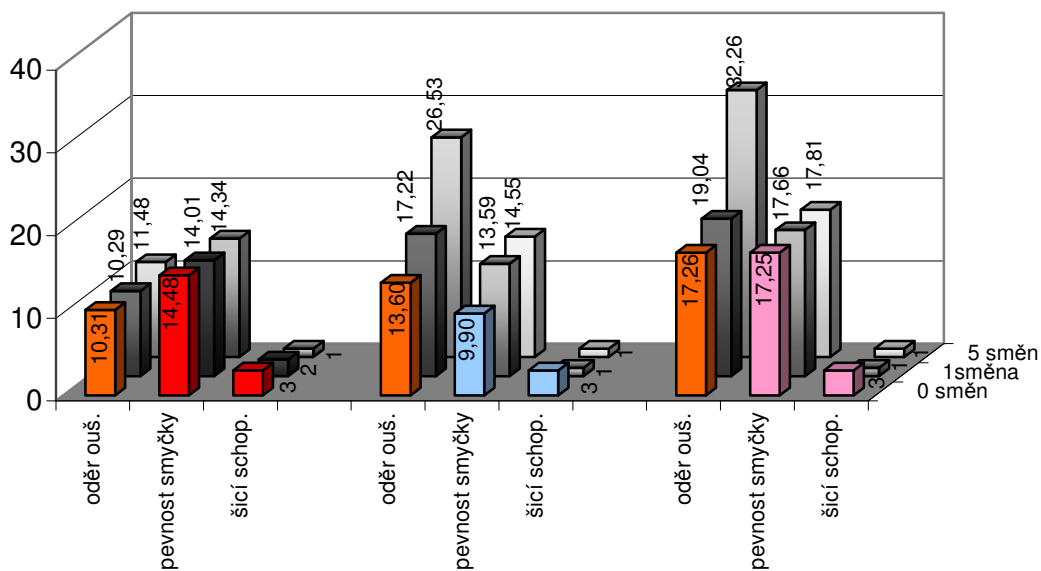
V tabulkách 7.32 až 7.35 jsou shrnuty naměřené změny hodnot oděru v oušku strojních šicích jehel, pevnosti šicí nitě ve smyčce a šicí schopnosti šicích nití vlivem opotřeбенí povrchových vrstev strojních šicích jehel. Dále na obr. 7-83 až 7-86 jsou uvedeny závislosti změny mechanických vlastností šicích nití na opotřeбенí povrchových vrstev strojních šicích jehel.

Tabulka 7.32 Strojní šicí jehla s chromovým povlakem

Opotřeбенí povlaku [směny]/ druh zkoušky	Šicí nit TRIANA			Šicí nit BELFIL S			Šicí nit SABA <sup>c</sup>		
	0	1	5	0	1	5	0	1	5
Oděr v oušku jehly [1/10]	10,31	10,29	11,48	13,60	17,22	26,53	17,26	19,04	32,26
Pevnost nitě ve smyčce [N]	14,48	14,01	14,34	9,90	13,59	14,55	17,25	17,66	17,81
Šicí schopnost nitě [1]	3	2	1	3	1	1	3	1	1

Poznámka : pro přehlednost grafu jsou hodnoty oděru v oušku strojní šicí jehly 10x zmenšeny

Strojní šicí jehla s chromovým povlakem

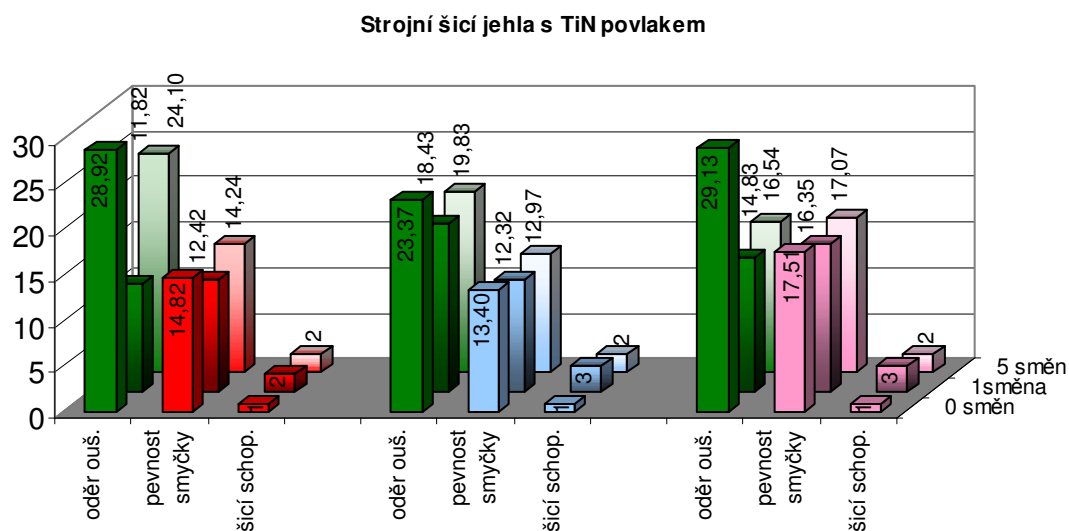


Obr. 7-83 Závislost změny mechanických vlastností šicích nití na opotřebení chromové povrchové vrstvy strojních šicích jehel

Tabulka 7.33 Strojní šicí jehla s TiN povlakem

Opotřebení povlaku [směny]/ druh zkoušky	Šicí nit TRIANA			Šicí nit BELFIL S			Šicí nit SABA <sup>c</sup>		
	0	1	5	0	1	5	0	1	5
Oděr v oušku jehly [1/10]	28,92	11,82	24,10	23,37	18,43	19,83	29,13	14,83	16,54
Pevnost nitě ve smyčce [N]	14,82	12,42	14,24	13,40	12,32	12,97	17,51	16,35	17,07
Šicí schopnost nitě [1]	1	2	2	1	3	2	1	3	2

Poznámka : pro přehlednost grafu jsou hodnoty oděru v oušku jehly 10x zmenšeny



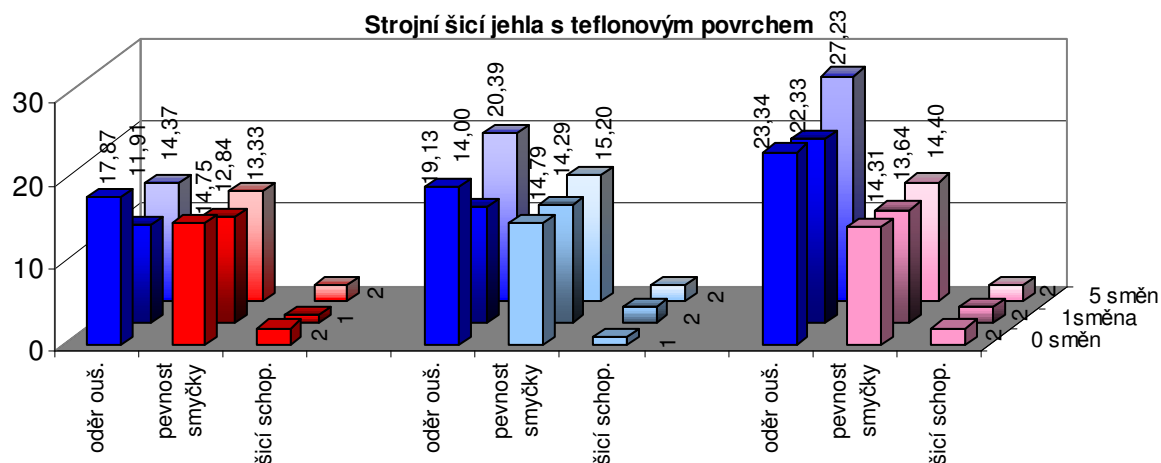
Obr. 7-84 Závislost změny mechanických vlastností šicích nití na opotřebení TiN povrchové vrstvy strojních šicích jehel

Tabulka 7.34 Strojní šicí jehla s teflonovým povlakem

Opotřebení povlaku [směny]/ druh zkoušky	Šicí nit TRIANA			Šicí nit BELFIL S			Šicí nit SABA <sup>c</sup>		
	0	1	5	0	1	5	0	1	5
Oděr v oušku jehly [1/10]	17,87	11,91	14,37	19,13	14,00	20,39	23,34	22,33	27,23
Pevnost nitě ve smyčce [N]	14,75	12,84	13,33	14,79	14,29	15,20	14,31	13,64	14,40
Šicí schopnost nitě [1]	2	1	2	1	2	2	2	2	2

Poznámka : pro přehlednost grafu jsou hodnoty oděru v oušku jehly 10x zmenšeny



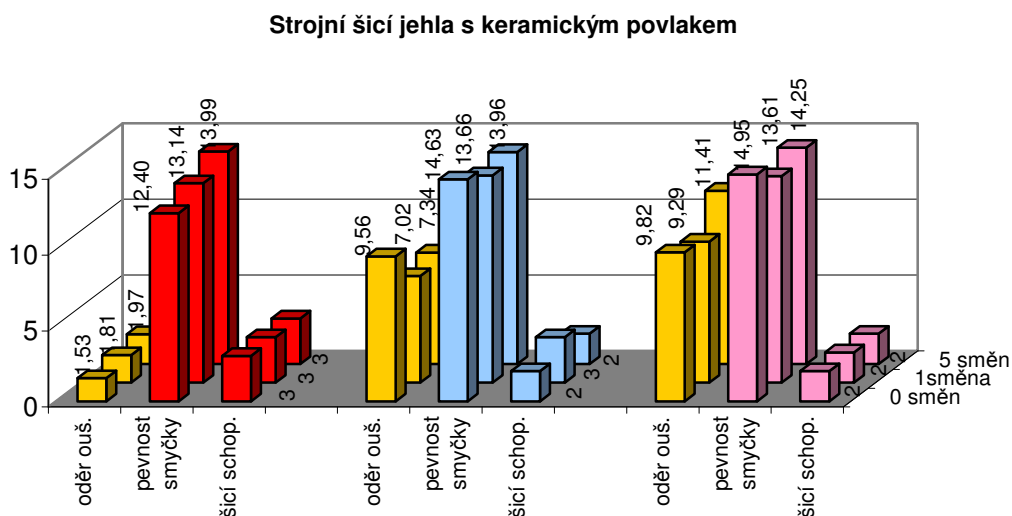


Obr. 7-85 Závislost změny mechanických vlastností šicích nití na opotřebení teflonové povrchové vrstvy strojních šicích jehel

Tabulka 7.35 Tabulka 7- 30 Strojní šicí jehla s keramickým povlakem

Opotřebení povlaku /směny/ /druh zkoušky	TRIANA			BELFIL S			SABA C		
	0	1	5	0	1	5	0	1	5
Oděr v oušku jehly /1/10/	1,53	1,81	1,97	9,56	7,02	7,34	9,82	9,29	11,41
Pevnost nitě ve smyčce /N/	12,40	13,14	13,99	14,63	13,66	13,96	14,95	13,61	14,25
Šicí schopnost nitě /1/	3	3	3	2	3	2	2	2	2

Poznámka : pro přehlednost grafu jsou hodnoty oděru v oušku jehly 10x zmenšeny



Obr. 7-86 Závislost změny mechanických vlastností šicích nití na opotřebení keramické povrchové vrstvy strojních šicích jehel

Z naměřených hodnot vyplývá, že již nové nepoužité jehly, jejichž povrchové vrstvy jsou zhotoveny různými technologiemi nanášení povlaků, ovlivňují mechanické vlastnosti šicích nití. Tyto vlastnosti mají vliv na kvalitu spoje technických textilií v automobilovém průmyslu a to hlavně při výrobě airbagů a sedáků automobilů.

Na obr. 7-83 až 7-86 jsou znázorněny grafické závislosti oděru šicí nitě v oušku jehly, pevnosti ve smyčce šicí nitě a šicí schopnosti šicí nitě na změně kvality povrchových vrstev strojních šicích jehel vlivem opotřebení ve spojovacím procesu. Z těchto závislostí vyplývá, že během spojovacího procesu došlo po jedné pracovní směně k opotřebení u většiny povrchových vrstev strojních šicích jehel, tzn. ke zdrsnutí povrchu, to mělo za následek změnu mechanických vlastností šicích nití po zašití do švu těmito jehlami, viz obr. 7-84, 7-85 a 7-86, jen u povrchové úpravy strojních šicích jehel s chromovou povrchovou úpravou došlo naopak k vyhlazení povrchové vrstvy vlivem opotřebení a mechanické vlastnosti šicích nití se výrazně nezhoršily ba některé se naopak zlepšily viz obr. 7-83. Dále ze závislostí vyplývá, že nejméně mechanické vlastnosti šicích nití ovlivnily jehly s povrchovou úpravou nitridu titanu viz obr. 7-84 i když rozdíly mezi naměřenými hodnotami mechanických vlastností šicích nití, které vznikly vlivem opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel, jsou značné a to hlavně mezi naměřenými hodnotami mechanických vlastností šicích nití u strojních šicích jehel bez opotřebení a po 8 hodinovém opotřebení. Dále z výše uvedených závislostí je zřejmé, že největší rozdíly mezi naměřenými hodnotami mechanických vlastností šicích nití, které vznikly vlivem opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel, jsou u jehly s chromovou povrchovou úpravou viz obr. 7-83, což je dáno především drsností této povrchové úpravy, viz kap.7.2.6, tzn. u strojních šicích jehel s chromovým povrchem je povrchová vrstva vlivem abrazivního a adhezního opotřebení vyhlazena. Naproti tomu nejmenší rozdíly mezi naměřenými hodnotami mechanických vlastností šicích nití vlivem opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel jsou u jehly s keramickým povrchem, tzn. že strojní šicí jehly s keramickým povrchem nejlépe odolávají abrazivnímu a adheznímu opotřebení. Ze závislosti na obr. 7-85 vyplývá, že vliv teflonové povrchové vrstvy na mechanické vlastnosti šicích nití můžeme sledovat pouze u neopotřebované teflonové povrchové vrstvy strojních šicích jehel, jelikož teflonová vrstva po 8 i 40 hodinovém opotřebení již na strojních šicích jehlách v oušku jehly vlivem abrazivního a adhezního opotřebení v podstatě není a následně již hodnotíme vliv opotřebení základního materiálu na změnu mechanických vlastností šicích nití tzn., že životnost teflonové povrchové vrstvy se dá počítat ne

na směny, ale na minuty až hodiny a dá se předpokládat, že strojní šicí jehla bez povrchové vrstvy sice nepůsobí negativně na šicí materiál viz obr. 7-85, ale díky tomu, že jehly jsou bez povrchové ochrany, dojde u těchto strojních šicích jehel k vyššímu zahřátí špice a hrotu strojních šicích jehel a vlivem této zvýšené teploty bude docházet k následnému natavení otvorů po vpichu strojních šicích jehel do šitého materiálu. Tento negativní jev, který způsobí zdrsňení otvoru po vpichu jehly v šitém materiálu, se projeví na změně mechanických vlastností šicích nití následně a to teprve ve spojení s cyklickým namáháním sedáků automobilů, tzn. dojde ke snížení životnosti spojů automobilových sedáků.

Měření také ukázala, že po pěti pracovních směnách (40 hodin) došlo u všech povrchových úprav strojních šicích jehel k následnému vyhlazení povrchových vrstev, tzn. zlepšení mechanických vlastností šicích nití viz obr. 7-83 až 7-86.

## 8. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Výsledky obsažené v této práci, přináší dílčí informace o povrchových úpravách šicích jehel, jejich mechanických vlastnostech resp. o jejich chování při šití automobilových sedáků z technických textilních materiálů.

Povrchové úpravy strojních šicích jehel jsou jedním z rozhodujících faktorů, které ovlivňují nejen životnost strojních šicích jehel, ale i kvalitu procesu šití a to za předpokladu vhodné konstrukce strojních šicích jehel i správně seřízeného šicího stroje.

S rostoucím rozvojem automobilového průmyslu vzrůstají požadavky na jakost spojovacího procesu a hotových výrobků. Proto výrobci strojních šicích jehel neustále vyvíjí nové konstrukce a povrchové úpravy. Tyto jehly pak musí plnit během své životnosti stále kvalitativní požadavky, což je velice náročné jak z hlediska spojovacího procesu, tak i z hlediska samotné strojní šicí jehly.

Pokud se jedná o sledování této problematiky, je nutno konstatovat, že k dané tématice neexistuje literatura, která by komplexně posuzovala sledovaný problém.. Též nové poznatky, které uvádí jednotliví výrobci strojních šicích jehel jsou velmi obecné a často neuvádí potřebné technické informace. To lze s největší pravděpodobností vysvětlit i tím, že jejich výrobky jsou patentově chráněny. Tento poznatek velmi ovlivnil řešení této disertační práce, shánění literárních podkladů i následné stanovení metodiky vyhodnocování jednotlivých technologií vytvoření povrchových vrstev strojních šicích jehel v rámci experimentálního měření .

Již základním problémem bylo zjištění složení materiálu, resp. typu, popř. třídy oceli ze kterých se strojové šicí jehly vyrábí a jejich přesná technologie výroby i tepelného zpracování. Vrzal [31] uvádí třídu ocelí ČSN 19 222 pro výrobu strojních šicích jehel.

Obecně je známo, že materiál a jeho struktura jsou nositeli mechanických, resp. užitných vlastností.

Z výzkumného hlediska by bylo velmi užitečné sledovat některé vlastnosti na strojní šicí jehle bez jakékoliv povrchové úpravy. Avšak tento záměr není v podstatě možný, neboť všechny jehly se vyrábějí s určitou povrchovou úpravou.

Proto z hlediska ryze informačního bylo na začátku experimentálních měření provedeno metalografické hodnocení struktury strojní šicí jehly a tím byly potvrzeny teoretické předpoklady o materiálu strojních šicích jehel i o tepelném zpracování, jak

odpovídá ocelím o vysokém obsahu uhlíku (1,2 %), které uvádí Píšek [24] nebo Jech [12] a dále bylo provedeno u jednotlivých druhů povlaků strojních šicích jehel měření tloušťky.

Pokud hodnotíme teoretické předpoklady povrchových úprav jehel bez specifík konstrukce jejich výrobců, avšak s účelem jejich větší vhodnosti např. pro šití technických syntetických textilních materiálů, které se používají v automobilovém průmyslu, pak z hlediska použitelnosti jsou vhodné jehly s TiN povrchem. Naopak pro šití technických textilií nejsou vhodné jehly s povrchovou úpravou teflonu.

Současně za velmi zajímavé považuji zjištění časového rozvrstvení výroby strojních šicích jehel s různými typy povrchových úprav např. u různých výrobců jehel (GRÖZ-BECKERT, SCHMETZ, atd.), avšak i tyto údaje si výrobci chrání. Jehly s povrchovou úpravou teflonu se používají již delší dobu, ale jehly s povrchovou úpravou nitridu titanu se používají krátkou dobu a jehly s keramickou povrchovou úpravou se zatím ve spojovacím procesu nepoužívají. Tyto jehly byly vyrobeny pouze pro vyšivací stroje. Nejstarší povrchovou úpravou strojních šicích jehel je chromování. Tato povrchová vrstva strojních šicích jehel je vytvořena velmi dlouho známou technologií galvanického pochromování, kdežto povrchové vrstvy nitridu titanu (TiN) a keramiky (TiC) jsou vytvořeny pomocí nové technologie metodami PVD.

Hodnotíme-li jednotlivé experimenty a jim odpovídající výsledky, je možno konstatovat následující poznatky:

**1.** Hodnocení jehel na vzpěr. Tato metoda se zdá být potřebná pro celkové hodnocení kvality strojních šicích jehel, neboť strojní šicí jehla je v šicím stroji namáhána na vzpěr při každém vpichu do šicího materiálu. Současně je nutno najít vazbu mezi namáháním jehly na vzpěr a příslušného typu její povrchové úpravy. Výsledky této práce ukazují, že největší průměrnou kritickou sílu na vzpěr vykazují jehly s povrchovou úpravou chromu. Tato průměrná hodnota je 148,87 [N]. Šicí jehly s povrchovými úpravami TiN, teflonu a keramiky vykazují hodnoty mnohem nižší u nitridu titanu tato hodnota je 118,06 [N] a pro jehly s keramickou povrchovou úpravou 115,32 [N]. Nízká hodnota pevnosti na vzpěr u strojních šicích jehel s keramickým povlakem může být způsobena také tím, že keramický povlak výrobci zatím nenanášejí na celé jehly, ale pouze na špice strojních šicích jehel. Nejnižší hodnotu vzpěru mají jehly s teflonovou povrchovou úpravou 114,08 [N].

**2.** Též příznivě pro sledování vlivu opotřebení na povrchové úpravy strojních šicích jehel se zdá být hodnocení zkoušky změny síly průpichu vlivem opotřebení

povrchových úprav strojních šicích jehel. Při této zkoušce dochází k působení šitého materiálu na povrch šicí jehly a popř. k překonávání odporu šitého materiálu při vnikání jehly. K tomuto účelu byla vybrána technická textilie, která se běžně používá k výrobě sedáků u automobilů. Pokud hodnotíme vliv opotřebení strojních šicích jehel na velikost síly průpichu musíme konstatovat, že po 8 hodinách opotřebení mají jehly s chromovou a TiN úpravou povrchu klesající hodnoty velikosti síly průpichu, jak je patrné z obr. 7-15. Pro velikost opotřebení 0h, 8h, 40h byly u chromované jehly naměřeny tyto průměrné hodnoty: 11,22 N (0h), 8,35 N (8h), 9,79 N (40h) a pro TiN 9,07 N (0h), 8,06 N (8h), 9,48 N (40h). To je zapříčiněno snížením koeficientu tření vlivem odírání jehly o šitý materiál. Dojde tedy ke zlepšení šicích vlastností strojních šicích jehel. Po 40 hodinách opotřebení dojde ke zvýšení síly průpichu, které je zřejmě zapříčiněno zvýšením drsnosti povrchu.

U strojních šicích jehel s chromovou povrchovou úpravou došlo po 8 hodinovém opotřebení ke snížení síly průpichu o 25 % a u jehly s TiN povrchovou úpravou o 11 %. Po 40 hodinách opotřebení síla průpichu opět vzrostla u strojních šicích jehel s chromovou povrchovou úpravou o 17 %, u strojních šicích jehel s TiN povlakem o 18 %.

U strojních šicích jehel s keramickým povrchem došlo naopak po 8 hodinách ke zvýšení síly průpichu a to o 28 %. Tato jehla má tedy opačný průběh opotřebení než jehly s chromovou a TiN povrchovou úpravou, a tedy i změnu velikosti síly průpichu. Po 40 hodinách opotřebení došlo u těchto strojních šicích jehel ke snížení velikosti síly průpichu o 3 %. Jehly s keramickým povrchem měly naměřené síly průpichu velice nízké, je to způsobeno i tím, že jehly měly daleko nižší jemnost (80 Nm) než jehly chromované a nitrid-titanové (120 Nm). U keramických jehel byly naměřeny tyto hodnoty: 2,71 N (0h), 3,46 N (8h), 3,34 N (40h).

Pokud sledujeme průměrné hodnoty získané měřením síly průpichu v závislosti na povrchové úpravě jehly můžeme konstatovat, že nejnižší síla průpichu byla naměřena u jehly s keramickým povrchem, jak je patrné z obr. 7-15. Zde je však nutné poznamenat, že jehly s keramickým povrchem měly naměřené síly průpichu velice nízké, vzhledem k tomu, že strojní šicí jehla měla daleko nižší jemnost (80 Nm), jak již bylo výše uvedeno, tzn. průměr stvolu jehly je 0,8 mm a tudíž je menší než mají strojní šicí jehly s chromovým a nitrid-titanovým povrchem (120 Nm), jejichž průměr stvolu jehly činí 1,2 mm. Toto bylo způsobeno tím, že jehly s keramickým hrotem se dosud používají velmi krátkou dobu a jehly s keramickým hrotem o jemnosti  $N_m120$ , které se

používají v automobilovém průmyslu se dosud nevyrábí, ale vzhledem na hlavní cíl této práce, kterým je výzkum vlivu technologie vytvoření povrchové vrstvy jehly na její životnost, tzn. že zkouškou síly průpichu jehly nesledujeme změnu síly průpichu vlivem povrchové vrstvy strojních šicích jehel, ale tato zkouška slouží jako míra porovnání opotřebení jednotlivých vrstev strojních šicích jehel vlivem spojovacího procesu i přesto, že strojní šicí jehla s keramickým povrchem má menší průměr stvolu, je možné tuto zkoušku použít pro hodnocení míry poškození strojních šicích jehel spojovacím procesem.

**3.** Měření tvrdosti povrchových úprav strojních šicích jehel lze zahrnout do přímých zkoušek materiálu. Vybraná metoda podle Vickerse je vhodná a též použitelná pro materiály s tvrdým povlakem (povrchovou úpravou). Zde jednoznačně nejtvrdší je úprava povrchu strojních šicích jehel keramiky, tedy karbidu titanu (TiC). U těchto povrchů se přisuzuje vysoká tvrdost přesyceným tuhým roztokům a velkým tlakovým pnutím v povlacích, které lze podmínkami nanášení řídit. Střední hodnota tvrdosti strojních šicích jehel s povrchovou úpravou keramiky činí  $HV_{0,01} = 19269,93$ . Vysokou tvrdost vykazují i jehly s povrchovou úpravou nitridu titanu (TiN), což souvisí s obecně známými charakteristikami binárních sloučenin kovů s dusíkem - nitridů, které se vyznačují vysokou tvrdostí. Střední hodnota tvrdosti strojních šicích jehel s povrchovou úpravou nitridu titanu činí  $HV_{0,01} = 873,74$ . Jehly s ostatními úpravami povrchu vykazují tyto hodnoty nižší, které jsou  $HV_{0,05} = 853,61$  pro jehly s povrchem chromu,  $HV_{0,05} = 248,90$  pro jehly s povrchem teflonu. Tato hodnota je o 72 % nižší než u strojních šicích jehel s povrchovou úpravou TiN, o 99 % nižší než u strojních šicích jehel s povrchovou úpravou keramiky a o 71 % nižší než u strojních šicích jehel s povrchovou úpravou chromu. Toto se negativně projevuje na abrazivním a adhezním opotřebení strojních šicích jehel s teflonovým povlakem ve spojovacím procesu.

**4.** Jako vhodné se ukázalo zobrazení stupně opotřebení pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu. Z hodnocení obrázků, viz příloha č. 7, obsažených v této práci je patrné, že velmi málo příznivá z hlediska uchování povrchové vrstvy i při poměrně krátkém šití je vrstva teflonu. To je patrné např. na obr. 7-28 příloha č. 7, kde se jedná o snímek detailu hrotu jehly a zde je jasně viditelný úbytek povrchové vrstvy teflonu. Měření prokázala, že tato vrstva, která je vytvořená radikálovou polymerací nejméně odolává především abrazivnímu a adheznímu opotřebení. Dá se tedy předpokládat, že takto nanesená povrchová vrstva je spojena se základním materiálem převážně pouze mechanickou adhezí a vlivem abrazivního opotřebování vzhledem k tvrdosti povrchové

vrstvy teflonu, která je velmi nízká a činí  $HV_{0,05} = 248,9$ , dochází k odstraňování povrchového materiálu, což je vidět jak na snímcích např. 7-28, 7-32, 7-33 příloha č. 7, ale i pouhým okem. Naopak jako příznivé se jeví technologie nanášení povrchové vrstvy na jehly způsobem galvanického vylučování kovů z vodných roztoků a metoda fyzikální depozice z plynné fáze (PVD). Galvanickým způsobem je na strojní šicí jehle vylučován chrom. Dříve se tímto způsobem na jehly nanášel také nikl, ale dnes se již jehly s tímto povlakem nevyrábí. Tímto způsobem se vytvoří vrstva tvrdého, otěruvzdorného chromu. Tato vrstva je velmi odolná proti abrazivnímu opotřebení, jelikož zde nedochází ke spojení základního materiálu jehly s povlakem pouze mechanickými vazbami, ale vlivem difúze jsou zde silné elektrochemické vazby. Díky vytvořenému tvrdému povlaku chromu, kde tvrdost činí  $HV_{0,05} = 853,61$ , strojní šicí jehla s touto povrchovou úpravou odolává vlivu opotřebení a její životnost, tzn. schopnost jehly vytvářet kvalitní spoj, je mnohem delší než u jehly s teflonovým povlakem. Po opotřebení strojních šicích jehel ve spojovacím procesu během 8 hodin u těchto strojních šicích jehel nedošlo k žádnému výraznému poškození. Na některých strojních šicích jehlách jsou patrné drobnější rýhy, které mohly být způsobeny všíváním polypropylénových lišt do spoje. Takováto rýha je vidět např. v horní části špičky jehly na snímku 7-1 příloha č. 7. Snímky strojních šicích jehel s chromovou povrchovou úpravou zobrazující 40 hodinové opotřebení vykazují daleko větší poškození povrchů. Nejvíce je to patrné na snímcích obr. 7-43 příloha č. 7, obr. 4-3 příloha č. 4, kde je vidět opotřebení povlaku a hluboké rýhy. Snímky z elektronového rastrovacího mikroskopu také prokázaly, že galvanicky vytvořený chromový povlak je značně drsný a vlivem opotřebení se chromový povlak vyhlazuje, viz obr.7-38.

Metodou fyzikální depozice z plynné fáze (PVD), tzn. vytváření povlaků z par kovů a sloučenin, byl vytvořen na povrchu jehly povlak nitridu titanu (TiN) a keramiky (TiC). Vrstvy vytvořené PVD metodou vykazují vysokou tepelnou odolnost, korozivzdornost, nízký koeficient tření, dobrou adhezi a vysokou mikrotvrdost. Dobrou adhezi zajišťují především chemické vazby, ale jsou zde také využity vazebné síly Van der Waalsovy. Jehly s TiN povrchovou vrstvou po 8 hodinovém opotřebení nevykazují výrazné poškození. Na snímku obr.7-20 a 7-45, 7-60 příloha č. 7 jsou patrné černé povrchové tečky, které nelze dosti přesně identifikovat, lze usuzovat na lokální poškození TiN povrchové vrstvy. Na snímku obr.7-18 příloha č. 7 je viditelné výrazné poškození hrotu jehly, kde došlo k odloupenutí povrchové vrstvy. Dá se předpokládat, že toto poškození není způsobeno nekvalitní povrchovou vrstvou vytvořenou technologií



PVD nanášením, ale vlivem obsluhy nebo špatným seřízením šicího stroje. Snímky strojních šicích jehel s TiN povrchovou úpravou zobrazující 40 hodinové opotřebení ukazují daleko větší poškození povrchů. Na snímcích obr. 7-21, 7-22 příloha č. 7 jsou viditelné tenké povrchové rýhy po celém povrchu hrotu jehly. Současně ze snímků obr. 7-47, 7-48 a 7-22 příloha č. 7 je opět patrné výrazné poškození povrchové vrstvy hrotu jehly. Ze snímku obr. 7-22 příloha č. 7 je zřejmé, že zde došlo k narušení TiN vrstvy vlivem obsluhy nebo špatným seřízením šicího stroje. Hrot jehly na tomto snímku vykazuje známky naražení tohoto hrotu na jinou součást šicího stroje např. stehovou desku, při vychýlení jehly ze směru kolmého k šití vlivem ohybového namáhání při šití viz kap. 2.2.

Keramický (TiC) povlak byl stejně jako TiN povlak, jak již bylo výše uvedeno, vytvořen PVD metodou. Za pomoci této metody byl vytvořen dvouvrstvý povlak. Nejprve je vytvořen povlak Ti jehly a následně byl vytvořen povlak TiC. Díky takto vytvořenému povlaku jehly vznikl tvrdší a více odolný povlak proti opotřebení.

Jehly s keramickým povlakem vykazují po 8 hodinovém opotřebení mírné zdrsnění této povrchové vrstvy strojních šicích jehel. Na strojní šicí jehle jsou viditelné rýhy a poškození povrchové vrstvy na hrotu jehly viz např. obr. 7-68, 7-36 příloha č. 7. Na snímku obr. 7-68 příloha č. 7, je také viditelné lokální poškození vrstvy. Po 40 hodinovém opotřebení vykazují strojní šicí jehly s keramickým povrchem lokální poškození povrchové vrstvy, jak je vidět na snímku obr. 7-37, 7-38 příloha č. 7. Dále na snímku obr. 4-11 příloha č. 4 je viditelné mírné vyhlazení povrchové vrstvy a ze snímků obr. 7-51, 7-70 příloha č. 7 je zřejmé poškození keramické vrstvy na hrotu jehly.

Pokud hodnotím snímky, které zachycují vliv opotřebení (40hod.), vlhka a UV záření na povrch strojních šicích jehel, lze konstatovat, že všechny druhy jehel zaznamenaly podstatné zhoršení vzhledu. Došlo k výrazné korozi povrchu, nejzřetelněji je to vidět u jehly s chromovým povlakem (obr. 7-16 příloha č. 7). Naopak nejmenší vliv se projevil u jehly s keramickým povlakem (obr. 7-40 příloha č. 7). Dá se předpokládat, že koroze vznikla v oblastech poškození povrchové vrstvy jehly, jelikož jsou tyto oblasti nejvíce vystaveny vlivu opotřebení jehly ve spojovacím procesu, tzn. především na špicích strojních šicích jehel, jak je zřejmé ze snímků obr. 7-16, 7-26, 7-40 příloha č. 7, dále v místech dlouhé drážky na stvolu a ouška jehly, viz obr. 7-15, 7-25, 7-39 příloha č. 7.

Velmi důležitou vlastností povrchových vrstev strojních šicích jehel vzhledem k životnosti jehly by měla být odolnost povrchové vrstvy proti ulpívání natavených částic šicího a šitého materiálu na této povrchové vrstvě. Vlivem těchto ulpěných částic dochází k tzv. např. „zarůstání“ ouška jehly a to má negativní vliv především na mechanické vlastnosti šicího materiálu a to se pak projevuje na kvalitě výrobku v našem případě airbagu a sedáku automobilu. Ze snímků z elektronového mikroskopu (VEGA TS 5130) je zřejmé, že u všech povrchových vrstev došlo k ulpění natavených částic šicího i šitého materiálu viz např. obr.7-13, 7-19, 7-29, 7-70 příloha č. 7. Nejlépe odolávají těmto nataveninám jehly s povrchovou vrstvou teflonovou. Tato vrstva je vytvořená radikálovou polymerací a vzniká tudíž organický nekovový povlak polytetrafluorethylenu, který je velmi odolný proti tepelnému namáhání jehly a proto nedochází k tavení šicího a šitého materiálu vlivem teploty jehly a následnému ulpívání těchto natavenin na povrchu této vrstvy. Ze snímků jehly s teflonovým povlakem po opotřebení je zřejmé, že výše uvedená vlastnost teflonové vrstvy je u jehly využitelná pouze velmi krátkou dobu. Jakmile dojde k opotřebení teflonové vrstvy dochází v místech opotřebení k ulpívání natavenin šicího a šitého materiálu viz obr. 7-28, 7-29 příloha č. 7. Nejméně odolává proti ulpívání natavenin šitého a šicího materiálu povrchová vrstva chromová, což je dáno tím, že tato vrstva, vytvořená galvanickým pochromováním, je drsná. Tato vlastnost chromového povrchu má vliv na velikost třecí síly, která následně vyvolává ohřev jehly s tímto povrchem. Naproti tomu vrstvy TiN, TiC vytvořené PVD metodou jsou méně drsné než chromová vrstva a koeficient tření je malý a pohybuje se mezi hodnotou 0,1 až 0,2 což je 4 až 25x menší hodnota než má chromový povlak.

**5.** Pro sledování vlivu technologie povrchových úprav na životnost strojních šicích jehel je vhodné i sledování vlivu opotřebení povrchové vrstvy strojních šicích jehel spojovacím procesem na mechanické vlastnosti šicích nití, tzn. životnost strojních šicích jehel má vliv na kvalitu spoje.

Samotné stanovení změny mechanických vlastností šicích nití není předmětem této disertační práce, ale bylo provedeno s cílem zjistit vliv opotřebení povlaků strojních šicích jehel vlivem namáhání těchto povlaků ve spojovacím procesu při šití automobilových sedáku na životnost těchto povlaků. Předpokládá se, že mechanické vlastnosti šicích nití se po zašití šicích nití do švu nezmění.

Z naměřených hodnot vyplývá, že již nové nepoužité jehly, jejichž povrchové vrstvy jsou zhotoveny různými technologiemi nanášení povlaků, ovlivňují mechanické

vlastnosti šicích nití. Tyto vlastnosti mají vliv na kvalitu spoje technických textilií v automobilovém průmyslu a to hlavně při výrobě airbagů a sedáků automobilů.

Použijeme-li naměřené hodnoty změny mechanických vlastností strojních šicích nití k hodnocení životnosti povrchových vrstev jehly můžeme konstatovat, že jehly s povrchovou úpravou vytvořenou PVD metodou mají delší životnost než povrchové vrstvy vytvořené galvanickou a radikálovou polymerační metodou např. jehly s keramickým povlakem mají nejméně 3x delší životnost než je životnost strojních šicích jehel s chromovým a teflonovým povlakem, tzn. rozdíl mezi hodnotami mechanických vlastností šicích nití naměřených u šicích nití zašitých do švu novými a strojními šicími jehlami s opotřebovanými povlaky jsou malé na rozdíl od ostatních povrchových vrstev strojních šicích jehel.

Největší rozdíly mezi naměřenými hodnotami změny mechanických vlastností šicích nití, které vznikly vlivem opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel, jsou u strojních šicích jehel s chromovou povrchovou úpravou, což je dáno především drsností této povrchové úpravy. Můžeme tedy konstatovat, že chromová povrchová vrstva strojních šicích jehel je nejvíce ovlivněna opotřebením ve spojovacím procesu což je dáno vlastnostmi chromu. Během abrazivního a adhezního opotřebovávání chromových povrchových vrstev ve spojovacím procesu dochází k vyhlazování tohoto povrchu. Zvláštní případ tvoří teflonová povrchová vrstva, jelikož u této povrchové vrstvy hodnotíme vliv na mechanické vlastnosti jen u nových strojních šicích jehel, jelikož vlivem abrazivního a adhezního opotřebení této vrstvy došlo k odstranění této vrstvy z povrchu strojních šicích jehel a provádíme-li následné hodnocení změny mechanických vlastností šicích nití, zašitých do švu, vlivem jehly s teflonovým povlakem po 8 a 40 hodinovém opotřebení, nehodnotíme vliv opotřebované teflonové vrstvy na mechanické vlastnosti šicích nití, ale vliv základního materiálu jehly na tyto vlastnosti. Je tedy zřejmé, že životnost teflonové povrchové vrstvy je jen několik hodin tzn. nejmenší.

Na základě výsledků všech provedených zkoušek změny mechanických vlastností šicích nití vlivem zašití do švu opotřebovanými strojními šicími jehlami, lze jehly s povrchovou vrstvou keramiky (TiC) označit jako nejlépe odolávající vrstvu abrazivnímu a adheznímu opotřebení, ale vzhledem k tomu, že životnost jehly je úzce spojená i s kvalitou spojovacího procesu a kvalitou vytvořeného spoje strojní šicí jehlou, můžeme označit i jehly s povrchovou úpravou TiN za jehly s vysokou životností i když tato povrchová vrstva odolává méně abrazivnímu a adheznímu opotřebení

než vrstva TiC. Povrchová vrstva TiN jako jediná při použití nových strojních jehel splňuje podmínku spojovacího procesu na šití minimálně tři minuty bez přetrhu šicích nití. Toto je způsobeno zvláštní technologií leštění ouška strojních šicích jehel s TiN vrstvou, před vytvořením této vrstvy. Při této technologii nedochází k leštění pomocí chemických roztoků, ale k mechanickému leštění pomocí brusné pasty a díky této technologii je povrch základního materiálu ouška jehly vyhlazenější než při použití technologie chemických roztoků a to má za následek, že povrchová vrstva TiN v oušku jehly je hladší než povrchová vrstva TiC v oušku jehly. Dá se tedy předpokládat, že kdyby se tato technologie mechanického leštění základního materiálu ouška jehly použila i u strojních šicích jehel určených k vytvoření TiC povlaku i tato strojní šicí jehla by splnila podmínku šití po dobu tří minut bez přetržení.

Ze všech výše uvedených poznatků lze usuzovat, že technologie vytvoření povrchové vrstvy strojních šicích jehel má vliv na životnost strojních šicích jehel. Nejvyšší odolnost vykazují jehly s povrchovými vrstvami, které byly vytvořeny nejnovějšími metodami přípravy povlaků, využívajících fyzikálních procesů PVD. Pomocí této metody byly vytvořeny povrchové vrstvy strojních šicích jehel TiN a TiC. Tyto povrchové vrstvy mají extrémně vysokou tvrdost a odolnost proti abrazivnímu a adheznímu opotřebení a to díky vlastnostem titanu, který je lehký, velmi tvrdý, dobrý vodič tepla a je chemicky stálý tzn. vzniklý nitrid titanu a karbid titanu má velmi dobrou otěruvzdornost a korozní odolnost. Dobrá otěruvzdornost je způsobena implantací iontů  $N^+$  a  $C^+$  do ocelí. Vlivem této implantace iontu se mění u titanu mechanismus opotřebení z adhezního na částečně abrazivní. Během opotřebení se implantované povrchy TiN pokryjí polykrystalickým filmem obsahující oxid a nitrid titanu. Tyto sloučeniny zmenšují adhezi a tedy i rychlost opotřebení. Dobrou adhezi povrchových vrstev TiN a TiC zajišťují především chemické vazby, ale jsou zde také využity vazebné síly van der Waalovi. Pro zlepšení životnosti těchto vytvořených povlaků se používá mezivrstva titanu. Tato mezivrstva však nemění součinitel tření, ale jak bylo výše uvedeno, jen životnost. Povrchové vrstvy TiC mají větší odolnost proti abrazivnímu opotřebení než povlaky TiN, což je dáno přítomností karbidu.

Strojní šicí jehly s chromovou povrchovou vrstvou vytvořenou galvanickým pochromováním, jsou především chráněny proti korozi. Galvanicky vytvořený povlak chromu je tvrdý a otěruvzdorný, ale na rozdíl od TiN a TiC vrstev má mnohem vyšší koeficient tření, který je také ovlivněn vysokou drsností této povrchové vrstvy. Díky elektrochemickým vazbám galvanicky vytvořený povlak chromu odolává adheznímu

opotřebení a díky abrazivnímu opotřebení dochází k vyhlazování povrchových nerovností a tím se snižuje drsnost tohoto povlaku. Dále díky nižší tvrdosti než je u povrchových vrstev TiN a TiC, dochází vlivem abrazivního opotřebení k rýhování této povrchové vrstvy, které je velmi výrazné na špici strojních šicích jehel. Z toho plyne, že chromová vrstva má mnohem menší životnost než povrchové vrstvy vytvořené PVD metodou.

Teflonová povrchová vrstva strojních šicích jehel vzhledem k tomu, že je vytvořena radikálovou polymerací, je nejméně odolná proti adheznímu i abrazivnímu opotřebení. Takto vzniklá vrstva má velmi malou tvrdost, vysokou drsnost a spojení základního materiálu s povlakem je zajištěno mechanicky, což má za následek, že během opotřebení dochází k odloupení této povrchové vrstvy již za krátkou dobu. Životnost teflonové vrstvy je velmi nízká dá se počítat pouze na hodiny.

Pokud bychom měli provést návrh vhodné technologie povrchových úprav strojních šicích jehel pro spojování technických textilií na bázi syntetických materiálů pro výrobu airbagů, čalounění a sedáků automobilů, lze jednoznačně doporučit jehly s povrchovou úpravou vytvořenou PVD metodou a leštění oušek strojních šicích jehel mechanicky pomocí leštících past.

V rámci této kapitoly je také nutno konstatovat, že firmy dodávající strojní šicí jehly byly ochotny poskytnout veškeré možné podklady pro tvorbu klasických povlaků strojních šicích jehel, avšak již nebyly schopni, vzhledem ke své výrobě, vyhotovit strojní šicí jehly s povrchovými úpravami různých tloušťek.

## 9. ZÁVĚR

Disertační práce řeší aktuální téma problematiky spojování technických textilií v automobilové výrobě, týkající se sledování vlivu technologie povrchových úprav strojních šicích jehel na jejich životnost. Její výsledky přispívají k rozšíření poznatků o chování povrchových vrstev strojních šicích jehel vlivem opotřebení ve spojovacím procesu.

Práce je rozdělena do dvou okruhů:

V úvodu rešeršní části je stručně uveden přehled o současném stavu problematiky vlivu povrchových úprav strojních šicích jehel na jejich životnost. Dále je zde hlavní pozornost věnována charakteristice materiálu a technologiím povrchových úprav strojních šicích jehel i mechanickému namáhání strojních šicích jehel v procesu spojování.

Experimentální část byla rozdělena do dvou etap. V první etapě byly vyrobeny jehly s různými povrchovými úpravami, které byly nanесeny na jehly různými technologiemi a zároveň bylo provedeno metalografické hodnocení struktury a sledování vybraných mechanických vlastností těchto strojních šicích jehel. Druhá etapa zahrnovala experimenty zaměřené na změnu vybraných mechanických vlastností povrchů strojních šicích jehel vlivem opotřebení ve spojovacím procesu a vliv opotřebovaných povrchů strojních šicích jehel na kvalitu vytvořeného spoje.

Získané poznatky a výsledky při řešení této disertační práce lze shrnout do těchto dílčích závěrů:

- 1) Byla navržena a provedena metodika měření vybraných vlastností a to tloušťky povlaků, namáhání jehly na vzpěr, stanovení maximální síly v průpichu, měření tvrdosti, měření drsnosti povrchu strojních šicích jehel a sledování povrchové úpravy po opotřebení. K tomuto účelu byly použity jehly s různou úpravou povrchu (chróm, nitrid titanu, teflon, keramika), kde povlaky byly vytvořeny různými technologiemi (galvanická metoda, PVD metoda, radikálová polymerace).
- 2) Z naměřených hodnot tloušťky povrchových vrstev strojních šicích jehel, které jsou v  $\mu$ -metrech, vyplývá, že se jedná o tenké povlaky. Nejnižší hodnotu tloušťky má povrchová vrstva TiN (0,56  $\mu$ m) a největší teflonový povlak (7,44  $\mu$ m).
- 3) Nejvyšší hodnoty při namáhání jehel ve vzpěru vykazují jehly s povrchovou úpravou chrómu (maximální průměrná síla činí 148,87 [N]). Naopak nejnižší průměrná síla byla zjištěna u jehel s povrchovou úpravou teflonu (114,08 [N]).

- 4) Zkoušky v průpichu byly použity pro hodnocení míry opotřebení jednotlivých vrstev strojních šicích jehel spojovacím procesem. Výsledky ukazují, že nejvíce stabilní povrchové vrstvy proti adheznímu a abrazivnímu opotřebení jsou povrchové vrstvy vytvořené PVD metodou (keramika (TiC), TiN). Galvanicky vytvořená vrstva chrómu na strojní šicí jehle je méně stabilní proti opotřebení tzn., že rozdíly mezi naměřenými hodnotami síly průpichu nové jehly s povrchovou úpravou chrómu a strojními šicími jehlami opotřebovanými ve spojovacím procesu po dobu 8 a 40 hodin, jsou vyšší než u povrchových vrstev TiC a TiN strojních šicích jehel. Nejméně jsou stabilní proti adheznímu a abrazivnímu opotřebení strojní šicí jehly s teflonovou povrchovou úpravou, která je vytvořena radikálovou polymerací.
- 5) Výsledky při měření tvrdosti, resp. mikrotvrdosti ukazují, že nejvyšší tvrdost vykazují jehly s povrchovou úpravou keramiky (TiC). Tato střední hodnota činí  $HV_{0,01} = 19269,93$ . Nejmenší střední hodnotu tvrdosti vykazují jehly s povrchovou úpravou teflonu ( $HV_{0,05} = 248,90$ ).
- 6) Měření drsnosti povrchových vrstev strojních šicích jehel byly použity pro hodnocení míry opotřebení jednotlivých vrstev strojních šicích jehel spojovacím procesem technických textilií. Nejmenší drsnost vykazují povrchové vrstvy zhotovené PVD metodou, kde drsnost povrchové vrstvy TiN i keramiky (TiC) na špici jehly činí  $R_a = 0,07 \mu m$ , ale hodnota  $R_t$  u TiN povlaku je  $0,78 \mu m$  a u TiC povlaku pouze  $0,48 \mu m$ . Povrchové vrstvy vytvořené galvanickým pochromováním vykazují vyšší drsnost  $R_a = 0,09 \mu m$  a hodnota je  $R_t = 0,87 \mu m$ . Nejvyšší drsnost má nekovový povlak teflonu, který byl vytvořen radikálovou polymerací, kde  $R_a = 0,21 \mu m$  a  $R_t = 1,39 \mu m$ .
- 7) Hodnocením obrázků povrchů jehel po opotřebení na elektronovém mikroskopu (VEGA TS 5130) se jeví nejlepší jehly s povrchovou úpravou nitridu titanu a keramiky. Naopak jehly s vrstvou teflonu vykazují velké opotřebení vrstvy i při krátkodobém použití (cca po jedné pracovní směně), které je viditelné i pouhým okem.
- 8) Na základě celkového hodnocení výsledků mé disertační práce se nejlépe jeví vzhledem k životnosti povrchové vrstvy jehly s povrchovou úpravou keramiky (TiC), které při všech zkouškách vykazovaly nejpříznivější vlastnosti vzhledem k opotřebení této vrstvy, ale díky vysoké drsnosti této vrstvy v oušku jehly, je zhoršená šicí schopnost a to může mít vliv na kvalitu šitého spoje. Opak tvoří jehly s povrchovou úpravou teflonu, které by měly mít díky vysoké drsnosti povrchu

velmi špatnou šicí schopnost, ale mají tuto šicí schopnost velmi dobrou. To je způsobeno tím, že nekovová teflonová vrstva je vytvořena radikálovou polymerací. Tato vrstva je díky malé adhezi a tvrdosti vlivem abrazivního a adhezního opotřebení již během několika minut vyhlazena a tudíž nedochází k vlivu drsnosti teflonového povrchu na změnu mechanických vlastností šicích nití. I když jehly s teflonovým povlakem nemají velký vliv na změnu mechanických vlastností šicích nití, dá se předpokládat, jak již bylo výše uvedeno, že tyto jehly se bez ochranné vrstvy budou více zahřívat, což bude mít vliv na šitý materiál a proto jsou k šití sedáků a airbagů automobilů zcela nevhodné.

Závěrem lze konstatovat, že uplatnění PVD technologie nanášení povrchových vrstev na strojní šicí jehlu je možné hodnotit jako velmi výhodné pro výrobu strojních šicích jehel určených na technické textilie, které se používají ve výrobě airbagů a sedáků automobilů. Většinou se jedná o vícevrstvé laminované materiály s vrstvou polyuretanu, které mají dobrou zotavovací schopnost po uvolnění zatížení, dobře přilnou k sedákům, nekloužou a nekrčí se. Tyto vlastnosti polyuretanových materiálů jsou způsobeny vysokým koeficientem tření těchto materiálů. Tento vysoký koeficient tření ale negativně působí na namáhání strojních šicích jehel, což může způsobit nekvalitní spoj. Výsledky této disertační práce dokázaly, že jehly s nanesenou vrstvou galvanicky a radikálovou polymerací jsou nevhodné pro použití ke spojování výše uvedených materiálů určených pro spojování technických textilií v automobilovém průmyslu.

### ***Vlastní přínos práce***

Práce shrnuje a rozšiřuje poznatky nejen o technologii vytváření povrchových vrstev strojních šicích jehel, ale především o vlivu spojovacího procesu při hotovení automobilových sedáků na kvalitu těchto povrchových vrstev.

Na základě výsledků disertační práce je možno efektivně hodnotit vliv technologie vytvoření povrchové vrstvy strojních šicích jehel na její životnost s cílem zajistit bezporuchový chod spojovacího procesu technických textilií a dále stanovit podmínky spojování.

Předložená disertační práce řešila problém opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel, které byly vytvořeny různými technologiemi, při procesu spojování technických textilií po stránce teoretické i po stránce experimentální.



Provedeným experimentem byly jednak potvrzeny obecné teoretické poznatky a jednak byly zjištěny skutečné hodnoty opotřebení povrchových vrstev strojních šicích jehel vlivem spojování technických textilií, které se používají v automobilovém průmyslu ke zhotovení sedáků a čalounění automobilů.

Experimenty ukázaly, že povrchové vrstvy strojních šicích jehel jsou značně opotřebovávány abrazí, což, jak se očekávalo, je způsobeno parametry technických textilií. Dále experimenty prokázaly, že abrazivnímu opotřebení odolávají povrchové vrstvy vytvořeny metodou PVD. Tato metoda patří k novějším technologiím vytváření povrchových vrstev s malou tloušťkou, nízkým koeficientem tření a vysokou tvrdostí, která zabezpečuje odolávání těchto vrstev proti abrazivnímu opotřebení.

Výše uvedené zjištění může přispět k dalšímu uplatnění PVD technologií při vývoji nových povrchových vrstev strojních šicích jehel např. DLC povrchové vrstvy, které by měly mnohem větší životnost a uplatnění ve spojovacím procesu technických textilií.

Dílní výsledky řešení byly předneseny na mezinárodních vědeckých konferencích v Trenčíně, Ústí nad Labem, Hradci nad Moravicí, Liberci, Zlíně a Bratislavě.

---

## 10. SEZNAM LITERATURY

- [1] Brodská,R.: Vliv oděru šicí nitě v oušku jehly na kvalitu stehu. DP TU Liberec 1999.
- [2] *Časopis MM Průmyslové spektrum , duben 2005-číslo4- CZK 65-ISSN 1212-2572, Kozozní zkoušky elektrolytický vyloučených povlaků niklu. Ing. Kateřina Kreislová, Ing. Lukáš Pacák.*
- [3] ČERNOCH, S.: Strojně technická příručka. 13. upravené vydání. Svazek 2., Praha 1977.
- [4] ČSN 19 222
- [5] ČSN 42 6427
- [6] DAUBNEROVÁ, K.: Vliv povrchových úprav strojních šicích jehel na šicí schopnost šicí nitě z přírodních a syntetických materiálů, DP TU Liberec 2004.
- [7] Firemní prospekty a katalogy.
- [8] HAAS, V.: Oděvní stroje a zařízení, SNTL Praha 1989.
- [9] HLUCHÝ, M.:Strojírenská technologie 1,nauka o materiálu, SNTL, Praha 1976.
- [10] HOLKOVÁ J. : Studie vlivu povrchových úprav strojních šicích jehel na šicí materiál. DP TU, Liberec 2001.
- [11] HORÁK, Z.,KUPKA, F.,ŠINDELÁŘ, K.: Technická fyzika. 3. vyd., Praha 1961.
- [12] JECH, J.: Tepelné zpracování oceli. [Metalografická příručka]. 2. vyd., Praha 1977.
- [13] JIRÁSKO, J.: Konstrukce a technologie výroby průmyslových šicích strojů I. 1. vyd., Praha 1970.
- [14] KRAUS, V.: Povrchy a jejich úpravy. [Skripta], ZČU – FS Plzeň, 2000.
- [15] KREJČÍŘÍKOVÁ, Z.: Studie deformace jehly šicího stroje užitím metody konečných prvků, DP VŠST Liberec 1997.
- [16] KUNZ, O.: Problematika prosekávání ve švu u prádlových výrobků, Sborník z III. Celostátní konference přadlářského průmyslu, Františkovy Lázně, srpen 1986, str.79-9.
- [17] MOTEJL, V.: Průzkum příčin zvyšování teploty strojové šicí jehly při šití – Kandidátská disertační práce, VŠST Liberec 1973.
- [18] MOTEJL, V., TEPŘÍK, O.: Šicí stroje v oděvní výrobě, SNTL Praha 1973.
- [19] NASIROV, K.: Tepelná analýza jehly, DP VŠST Liberec 1997.

- 
- [20] NGÔ CHÍ TRUNG : Problematika ohřevu strojové šicí jehly v šicím procesu, Disertační práce TUL, Liberec 1997.
- [21] PAVLÍČKOVÁ, B.: Měření síly při průpichu díla jehlou, DP VŠST Liberec 1995.
- [22] PAULIOVÁ, P.: Vliv povrchových úprav strojních šicích jehel na jejich životnost. DP TU Liberec 2002.
- [23] PAVLÍK, S.: Stroje a technologie spojování, Sborník přednášek, VŠST Liberec, detašované pracoviště Prostějov, 1993.
- [24] PÍŠEK, F., JENÍČEK, L., RYŠ, P.: Nauka o materiálu I. Nauka o kovech. 4. svazek, železo a jeho slitiny. 1. vyd. Praha 1975.
- [25] SEDLÁČEK, V.: Povrchy a povlaky kovů. [Skripta]. ČVUT - FJFI Praha, 1992.
- [26] SMRČKOVÁ R. : Studie oděru šicích nití při tvorbě stehu. DP TUL, Liberec 1989.
- [27] STRYA, J.: Konstrukce a technologie výroby průmyslových šicích strojů II, n.p. Minerva Boskovice 1970.
- [28] STRÍŽ, B.: Pružnost a pevnost. I.díl. [Skripta], VŠST – FS Liberec, 1979.
- [29] SUCHÁNEK, J., KUKLÍK, V., ZDRAVECKÁ, E.: Abrázivní opotřebení materiálů, Praha 2007.
- [30] SÝKOROVÁ, I.: Studie vlivu povrchových úprav strojních šicích jehel na šití syntetických materiálů, DP TU Liberec 2001.
- [31] VRZAL, B a kol.: Strojnické tabulky, svazek II. 1. vyd., Praha 1971.
- [32] Technické výukové podklady vysokých škol ( TUL, ČVUT, ZČU)
- [33] Rettková, A.: Šicí nitě Amann, BP TU, Liberec 1999

# PŘÍLOHY

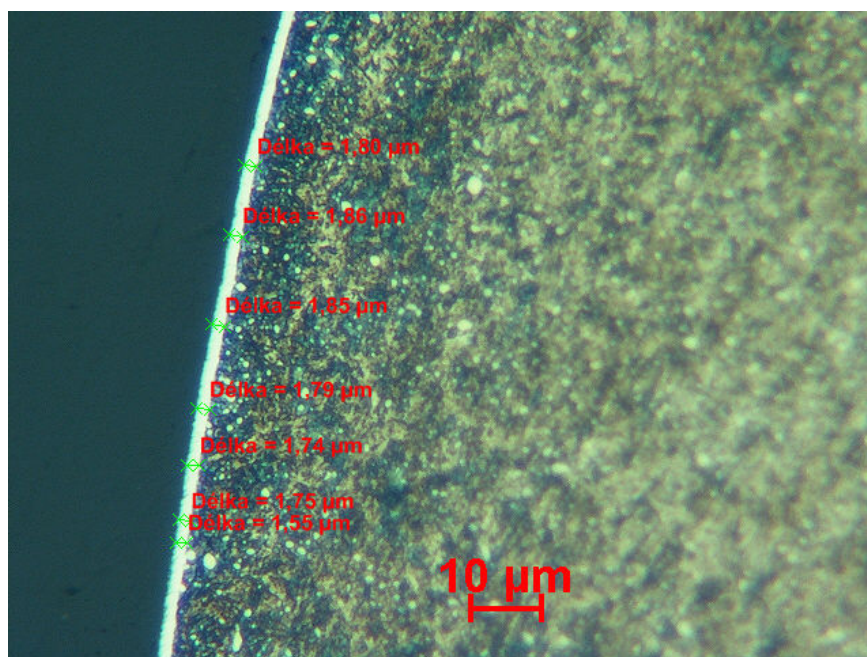
## Tloušťka povlaku

Tabulka 1-1 Tloušťka povlaků strojních šicích jehel – nitrid titanu (TiN), chrom, teflon, keramika

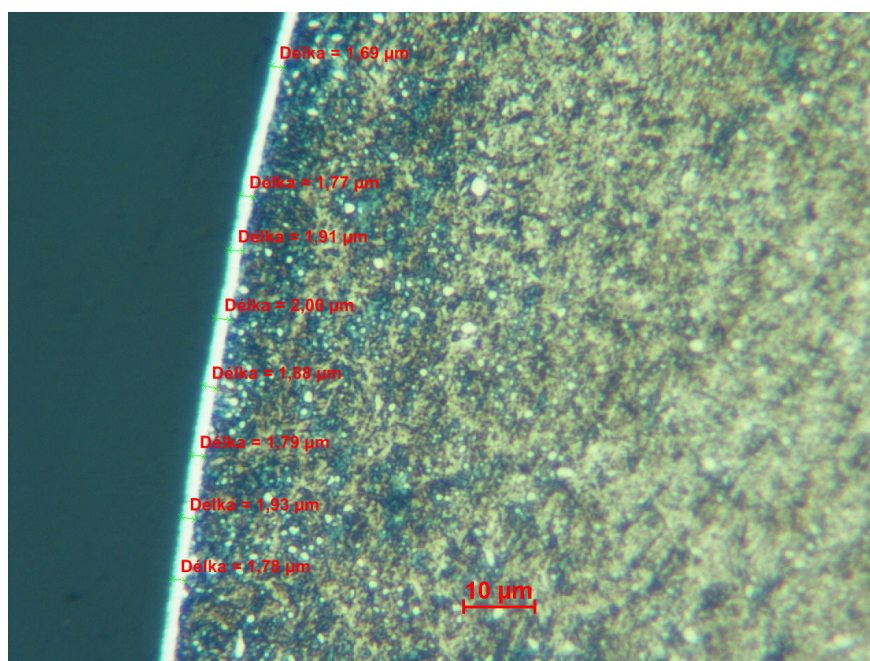
Měření/tloušťka povlaku	$t_{\text{TiN}} [\mu m]$	$t_{\text{Chrom}} [\mu m]$	$t_{\text{Teflon}} [\mu m]$	$t_{\text{Keramika}} [\mu m]$
1	0,51	1,69	7,06	1,15
2	0,56	1,77	8,80	1,34
3	0,54	1,91	8,23	1,32
4	0,57	2,00	8,21	1,17
5	0,61	1,88	7,06	1,11
6	0,40	1,79	6,48	1,25
7	0,58	1,93	7,63	1,22
8	0,44	1,78	7,04	1,16
9	0,75	1,75	6,48	1,34
10	0,64	1,86	7,04	1,32
$\bar{t}$	<b>0,56</b>	<b>1,84</b>	<b>7,44</b>	<b>1,24</b>
$s^2$	0,01	0,01	0,67	0,01
s	0,10	0,10	0,82	0,09
v	0,18	0,05	0,11	0,07

## Řezy strojními šicími jehlami

Metalografické výbrusy byly zobrazeny pomocí mikroskopu Neophot 21 a systému analýzy obrazu NIS Elements 2.3.

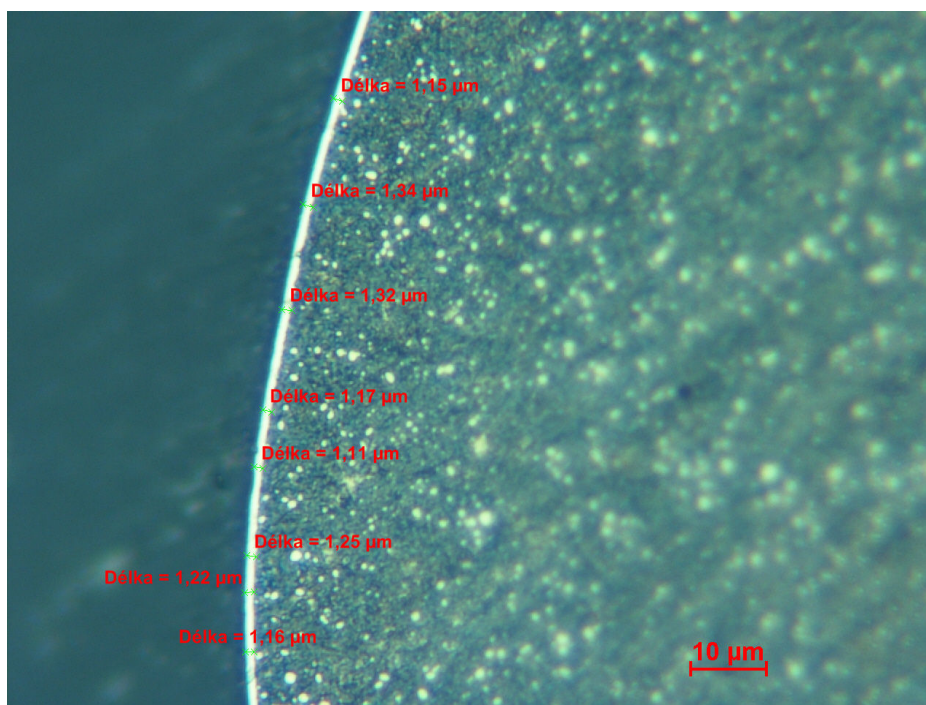


Obr. 1-1 Metalografický výbrus jehly - leptáno Nital - jehla s chromovým povlakem

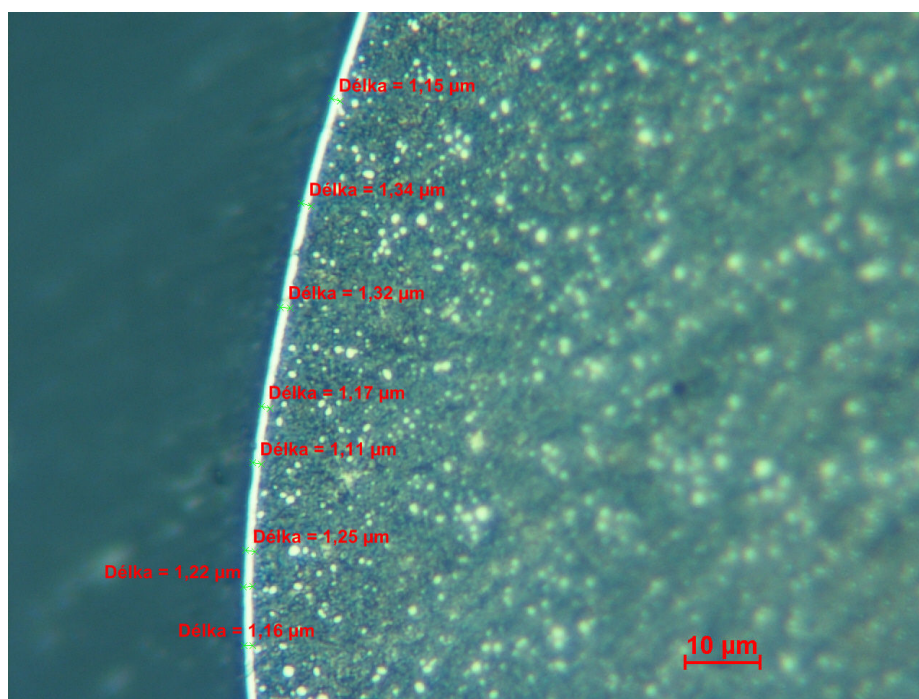


Obr. 1-2 Metalografický výbrus jehly - leptáno Nital - jehla s chromovým povlakem



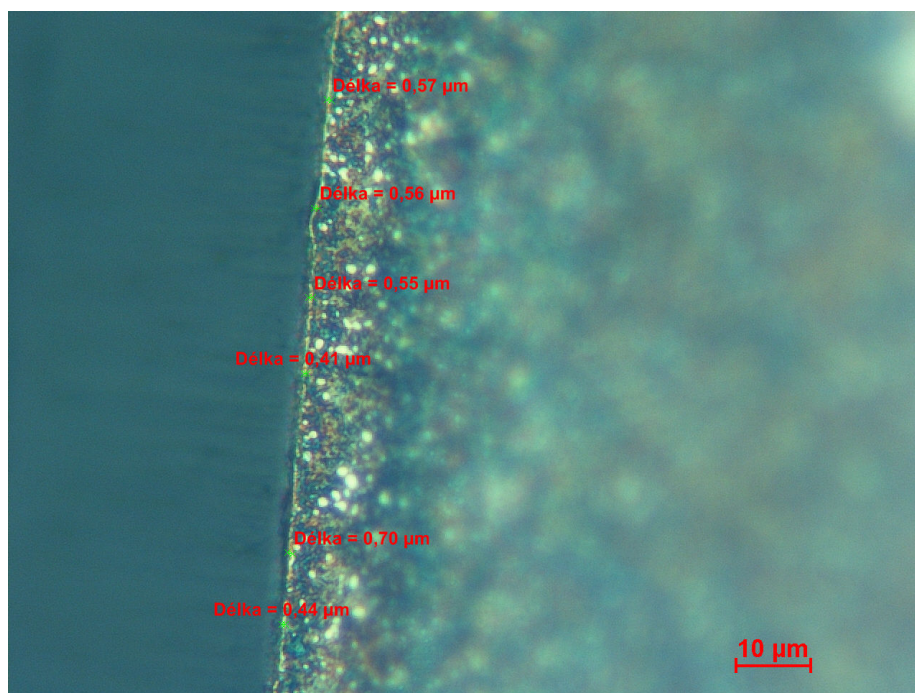


Obr. 1-3 Metalografický výbrus jehly – leptáno Nital – jehla s keramickým povlakem

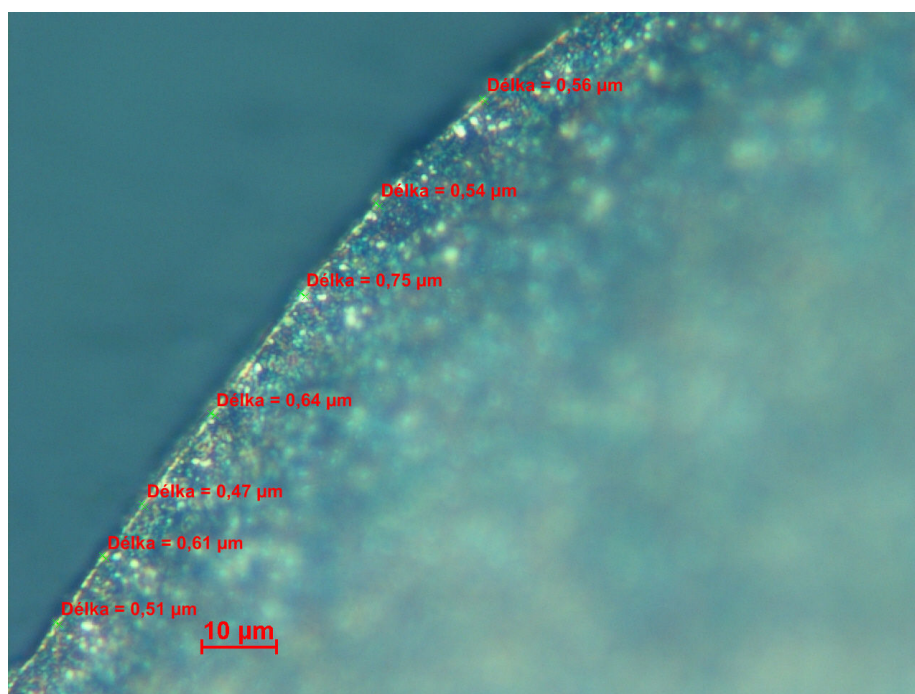


Obr. 1-4 Metalografický výbrus jehly – leptáno Nital – jehla s keramickým povlakem

**Příloha č. 1**  
pokračování

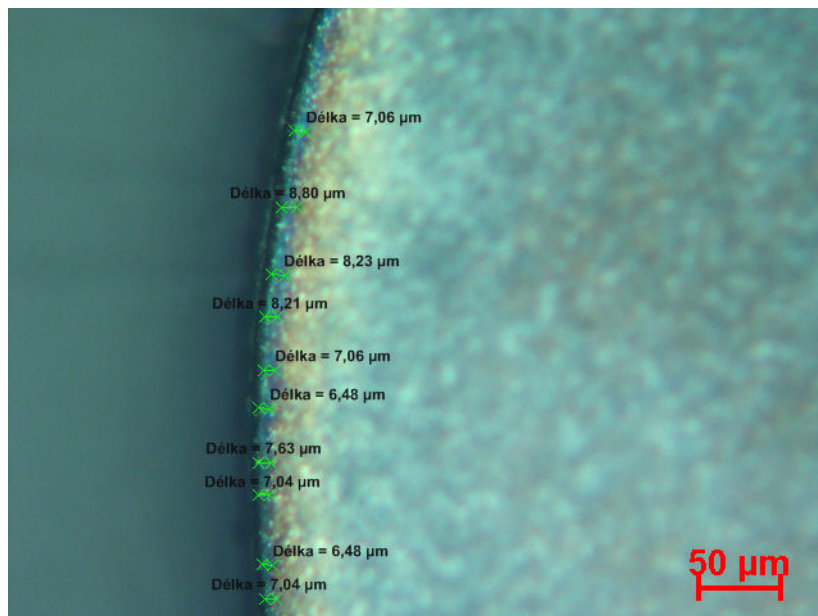


Obr. 1-5 Metalografický výbrus jehly – leptáno Nital – jehla s TiN povlakem



Obr. 1-6 Metalografický výbrus jehly – leptáno Nital – jehla s TiN povlakem





Obr. 1-7 Metalografický výbrus jehly – leptáno Nital – jehla s teflonovým povlakem

## Vzpěr

Tabulka 2-1 Naměřené a vypočtené hodnoty vzpěrné síly strojních šicích jehel

Povrchová vrstva strojní šicí jehly	Keramická	Teflonová	Chromová	Nitrid titanová
zkouška	kritická síla $F_{kr}$ [N]	kritická síla $F_{kr}$ [N]	kritická síla $F_{kr}$ [N]	kritická síla $F_{kr}$ [N]
1	124,29	110,78	145,22	115,88
2	111,74	120,73	146,93	116,73
3	111,44	116,80	154,83	114,51
4	114,35	109,78	152,08	120,68
5	108,24	112,35	146,59	122,40
6	109,91	108,51	150,09	124,18
7	113,28	120,86	153,00	118,69
8	121,54	113,31	146,48	110,79
9	115,94	113,14	142,02	117,49
10	122,46	114,51	151,46	119,20
n	10	10	10	10
$\bar{x}$	<b>115,32</b>	<b>114,08</b>	<b>148,87</b>	<b>118,06</b>
s	5,61	4,25	4,03	3,90
$s^2$	31,43	18,07	16,22	15,24
v	0,05	0,04	0,03	0,03

## Tvrдост povrchu

Tabulka č. 3-1 Naměřené hodnoty tvrdosti povrchu strojní šicí jehly s chromovou povrchovou úpravou

	<b>HV 0,05</b>	<b>d<sub>1</sub> [μm]</b>	<b>d<sub>2</sub> [μm]</b>	<b>d [μm]</b>
1	827,2	9,9	11,3	10,60
2	842,7	9,9	11,1	10,50
3	860,1	10,5	10,3	10,40
4	843,9	10,3	10,7	10,50
5	859,3	10,3	10,5	10,40
6	895,8	10,1	10,2	10,15
7	843,2	10,5	10,5	10,50
8	837,4	10,2	10,8	10,50
9	851,9	10,0	10,7	10,35
10	874,6	10,2	10,9	10,55
Průměr tvrdosti	<b>HV 0,05 = 853,61</b>			
s <sup>2</sup>	397,76			
s	19,94			
v	0,02			

Tabulka č. 3-2 Naměřené hodnoty tvrdosti povrchu strojní šicí jehly s teflonovou povrchovou úpravou

	<b>HV 0,05</b>	<b>d<sub>1</sub> [μm]</b>	<b>d<sub>2</sub> [μm]</b>	<b>d [μm]</b>
1	258,8	18,8	19,1	18,95
2	245,4	18,2	20,7	19,45
3	264,9	18,8	18,7	18,75
4	233,0	19,8	20,1	19,95
5	238,4	18,5	20,4	19,45
6	243,9	18,3	19,7	19,00
7	252,1	18,1	19,5	18,80
8	258,4	18,7	20,1	19,40
9	246,9	19,2	20,5	19,85
10	247,2	19,4	19,8	19,60
Průměr tvrdosti	<b>HV 0,05 = 248,90</b>			
s <sup>2</sup>	95,74			
s	9,79			
v	0,04			

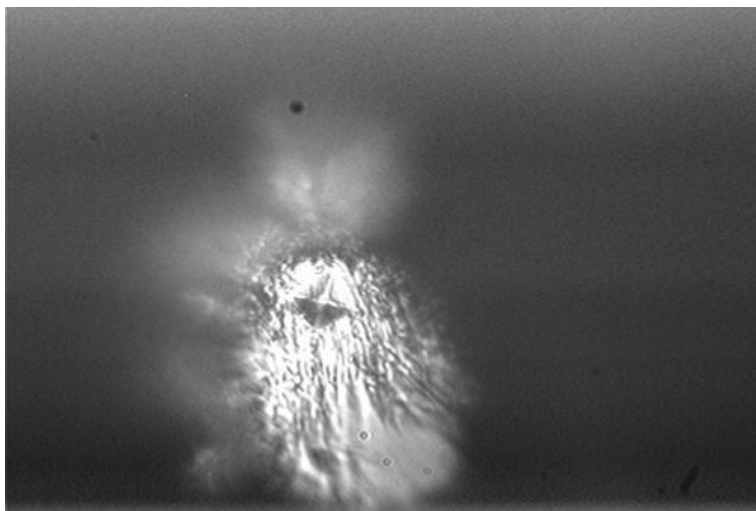
**Příloha č. 3**  
pokračování

**Tabulka č. 3 - 3 Naměřené hodnoty tvrdosti povrchu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou TiN**

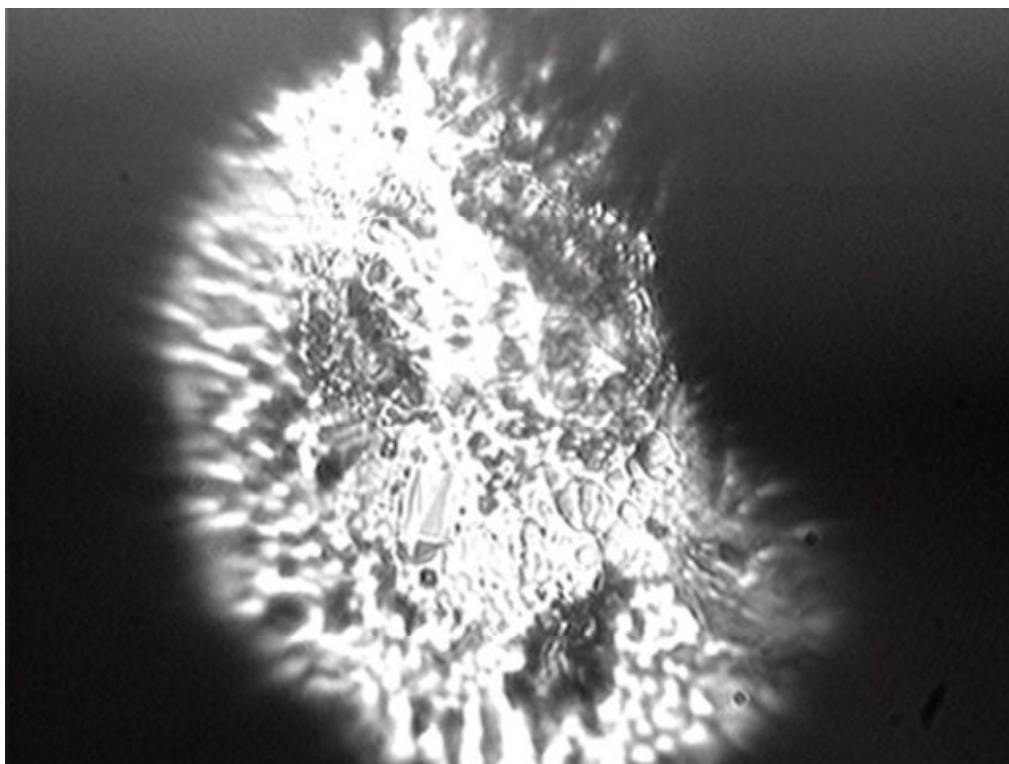
	<b>HV 0,01</b>	<b>d<sub>1</sub> [μm]</b>	<b>d<sub>2</sub> [μm]</b>	<b>d [μm]</b>
1	984,5	4,4	4,3	4,35
2	945,2	4,1	4,7	4,40
3	762,4	4,7	5,1	4,90
4	829,4	4,5	4,9	4,70
5	761,1	4,7	5,1	4,90
6	902,6	4,3	4,7	4,50
7	839,7	4,1	4,5	4,30
8	856,4	4,5	4,9	4,70
9	924,6	4,7	5,1	4,90
10	931,5	4,1	4,4	4,25
Průměr tvrdosti	<b>HV 0,01 = 873,74</b>			
s <sup>2</sup>	5848,88			
s	76,48			
v	0,09			

**Tabulka č. 3 - 4 Naměřené hodnoty tvrdosti povrchu strojní šicí jehly - povrchová úprava keramika**

	<b>HV 0,05</b>	<b>d<sub>1</sub> [μm]</b>	<b>d<sub>2</sub> [μm]</b>	<b>d [μm]</b>
1	20089,7	2,5	1,8	2,1
2	17864,3	2,7	1,9	2,3
3	19855,8	1,8	2,5	2,2
<b>Průměr tvrdosti</b>	<b>HV 0,05 = 19269,93</b>			
s <sup>2</sup>	1495531,10			
s	1222,92			
v	0,06			



obr. 3-1 Snímek měření povrchové tvrdosti keramického povrchu metodou  
Vickerse



obr. 3-2 Snímek detailu měření povrchové tvrdosti keramického povrchu metodou  
Vickerse

## Průpich

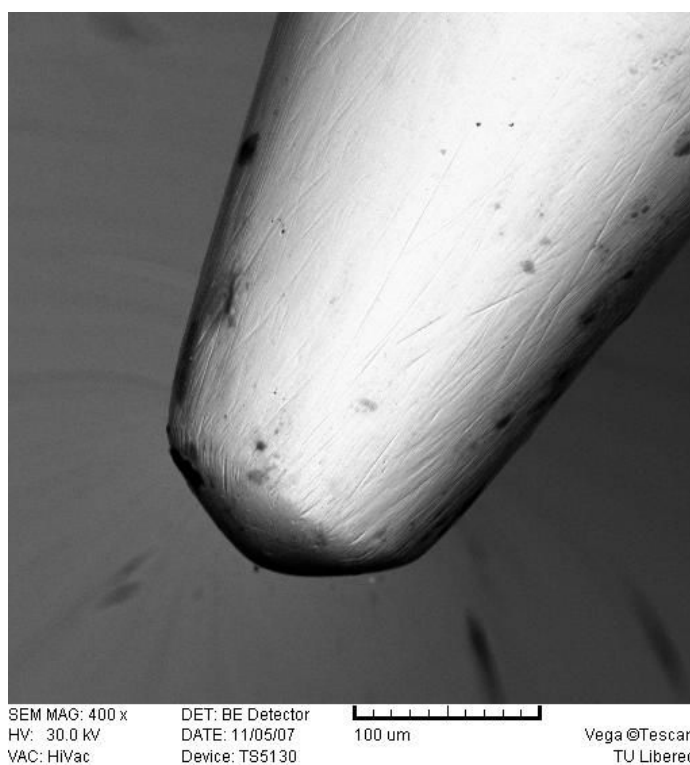
Tabulka 4-1 Naměřené hodnoty síly průpichu

Povrchová úprava	Keramická			Chromová			TiN		
Zkouška	F <sub>max</sub> [N] / 0h	F <sub>max</sub> [N] / 8h	F <sub>max</sub> [N] / 40h	F <sub>max</sub> [N] / 0h	F <sub>max</sub> [N] / 8h	F <sub>max</sub> [N] / 40h	F <sub>max</sub> [N] / 0h	F <sub>max</sub> [N] / 8h	F <sub>max</sub> [N] / 40h
1	3,83	1,22	1,92	8,88	4,01	4,88	7,49	3,13	4,88
2	3,83	2,96	1,39	10,09	9,23	4,01	7,66	4,01	9,92
3	2,09	2,44	1,92	11,49	9,23	6,44	6,27	5,39	5,05
4	2,44	2,26	2,79	8,88	5,92	5,57	9,23	5,57	8,18
5	2,26	1,74	2,61	8,01	5,05	6,96	8,53	5,92	8,36
6	1,92	5,22	2,44	10,84	8,71	12,01	12,71	10,79	11,32
7	2,96	4,35	3,48	18,98	10,45	9,58	8,36	13,93	10,45
8	1,92	4,35	2,96	18,11	13,58	11,14	10,79	9,05	13,41
9	1,92	4,18	2,09	16,54	12,88	8,71	13,41	12,54	12,54
10	2,26	2,79	2,96	16,54	10,62	14,79	12,54	12,88	13,58
11	1,01	4,53	4,18	12,88	2,26	10,09	7,49	7,49	10,09
12	1,39	6,09	4,88	18,11	10,27	12,54	7,84	8,36	10,79
13	4,53	5,92	4,71	10,09	9,41	11,14	7,49	9,05	9,58
14	4,35	4,53	5,39	9,23	12,19	12,19	8,53	8,36	9,75
15	4,01	5,39	3,83	11,32	10,27	10,97	7,49	8,36	10,27
16	4,71	1,04	2,79	10,79	3,83	5,05	6,03	4,35	4,71
17	5,05	0,87	2,09	10,27	3,31	4,53	7,87	6,27	4,18
18	1,39	1,74	5,57	11,14	8,71	4,35	6,03	4,35	8,71
19	1,74	2,26	1,74	9,49	4,01	3,31	10,38	7,31	5,92
20	1,74	1,39	1,92	9,06	3,83	7,31	7,27	7,66	5,57
21	1,39	4,01	2,79	10,09	14,45	13,06	9,49	9,75	10,79
22	1,58	3,13	3,48	8,21	13,93	15,15	8,53	9,05	13,76
23	1,39	1,74	2,26	9,94	13,93	10,62	8,49	6,44	11,67
24	1,74	2,96	4,53	9,23	12,88	14,45	7,49	9,75	9,75
25	3,13	3,48	3,13	10,13	12,19	14,28	10,38	11,84	11,84
26	1,22	3,66	3,66	9,49	3,13	12,19	9,15	6,62	10,09
27	2,09	4,71	3,66	10,03	3,83	13,06	9,49	7,84	9,41
28	4,35	4,71	4,18	9,49	4,18	12,36	10,38	8,36	8,71
29	4,88	4,71	5,57	9,09	9,58	10,27	12,54	9,23	10,27
30	4,18	5,39	5,39	10,19	4,53	12,54	12,71	8,18	10,79
n	30	30	30	30	30	30	30	30	30
$\bar{x}$	<b>2,71</b>	<b>3,46</b>	<b>3,34</b>	<b>11,22</b>	<b>8,35</b>	<b>9,79</b>	<b>9,07</b>	<b>8,06</b>	<b>9,48</b>
s <sup>2</sup>	1,64	2,28	1,51	9,70	15,73	13,27	4,36	7,07	7,09
s	1,28	1,51	1,23	3,11	3,97	3,64	2,09	2,65	2,66
v	0,47	0,44	0,37	0,28	0,48	0,37	0,23	0,33	0,28

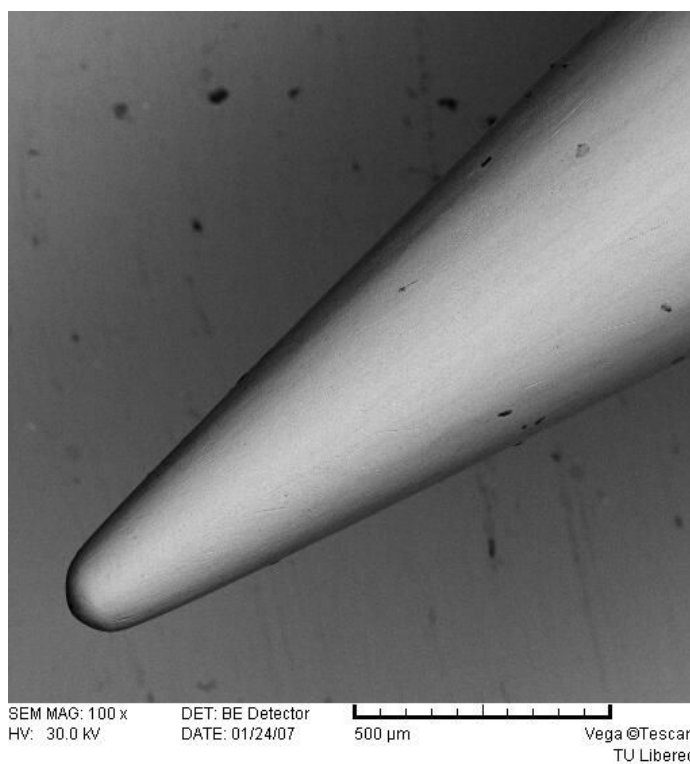
**Příloha č.4**  
pokračování

Povrchová úprava/zkouška	Teflonová			Chromová	TiN	Keramická
	$F_{\max}$ [ N ] / 0h	$F_{\max}$ [ N ] / 8h	$F_{\max}$ [ N ] / 40h	$F_{\max}$ [ N ] / 40h+UV+vlhkost	$F_{\max}$ [ N ] / 40h+UV+vlhkost	$F_{\max}$ [ N ] / 40h+UV+vlhkost
1	4,05	2,45	1,40	11,32	6,27	8,61
2	4,70	3,32	1,75	10,96	6,09	10,01
3	4,72	3,30	3,32	9,05	6,62	9,83
4	7,68	4,17	1,75	9,75	5,22	9,31
5	4,70	4,19	2,45	12,36	7,66	11,05
6	5,73	4,56	4,17	9,75	17,76	10,88
7	4,87	3,33	4,02	10,79	12,88	8,79
8	4,03	2,77	2,78	13,92	15,15	12,96
9	5,96	4,02	2,45	11,67	10,62	10,18
10	4,72	2,64	3,45	13,41	18,11	9,48
11	6,96	3,16	2,44	11,49	7,31	11,22
12	5,76	2,64	4,00	13,06	10,45	12,44
13	3,47	3,29	4,69	11,67	10,62	12,97
14	4,35	2,97	3,30	11,14	12,19	12,44
15	5,75	4,53	3,15	14,28	9,92	11,75
16	2,78	2,96	1,37	10,22	6,62	8,44
17	3,65	1,76	2,09	11,14	5,91	9,83
18	4,87	4,59	2,45	10,79	6,09	10,52
19	6,11	4,22	3,80	11,32	6,35	9,31
20	5,75	2,27	2,44	10,96	5,04	8,61
21	7,04	3,85	3,13	9,53	5,04	11,22
22	5,86	2,25	3,47	11,67	14,63	10,7
23	6,21	2,79	2,77	10,75	12,1	8,61
24	3,53	2,44	2,09	11,66	14,27	11,57
25	3,45	3,67	2,97	10,79	10,45	10,01
26	4,04	4,63	2,60	12,88	17,94	9,48
27	5,35	2,97	3,12	10,44	7,14	11,05
28	4,42	3,82	2,43	11,67	10,27	12,27
29	5,69	3,45	3,30	11,14	10,27	12,79
30	6,88	2,96	2,42	10,44	12,36	12,27
n	30	30	30	30	30	30
$\bar{x}$	<b>5,10</b>	<b>3,33</b>	<b>2,28</b>	<b>11,25</b>	<b>10,20</b>	<b>4,77</b>
$s^2$	1,49	0,62	0,67	1,68	15,31	1,77
s	1,22	0,79	0,82	1,30	3,91	1,33
v	0,24	0,24	0,36	0,12	0,37	0,28

**Strojní šicí jehla s chromovým povlakem**

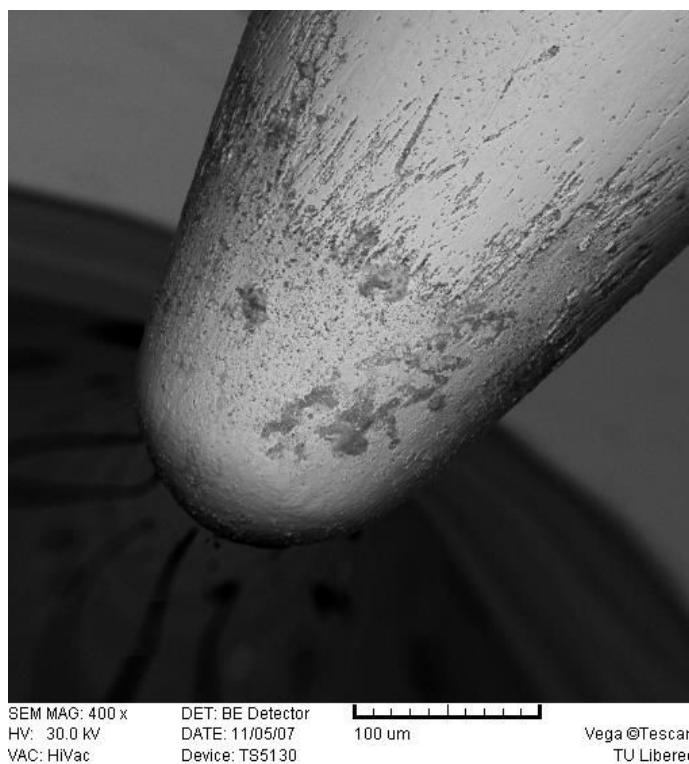


Obr. 4- 1 Detail hrotu jehly s chromovým povlakem ( 0 hod použití)

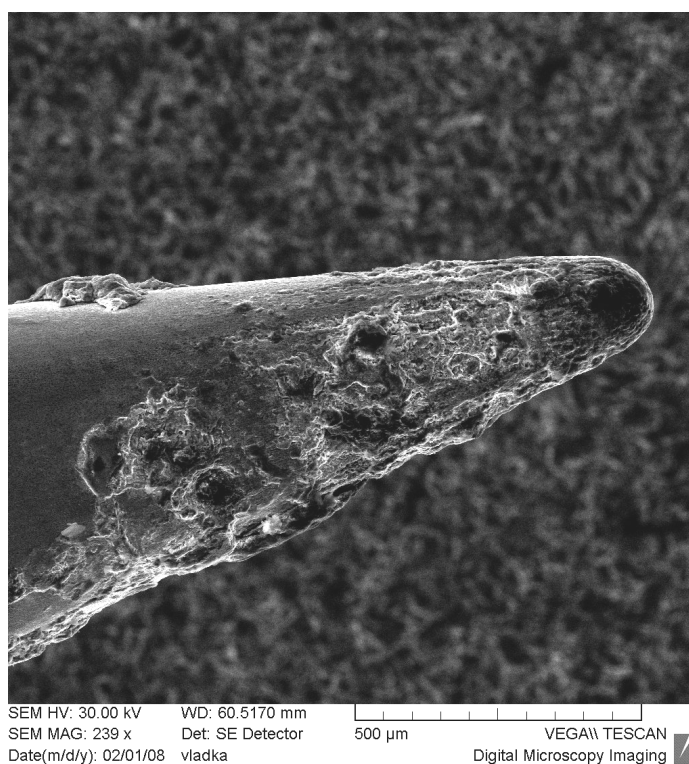


Obr. 4- 2 Pohled na špičku s hrotem u jehly s chromovým povlakem (8 hod použití)



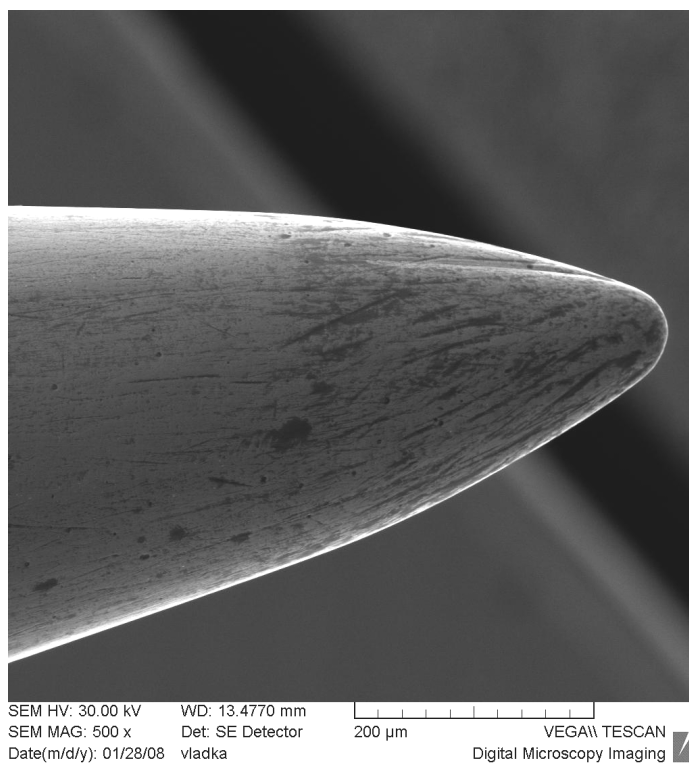


Obr. 4- 3 Detail hrotu jehly s chromovým povlakem ( 40 hod použití)

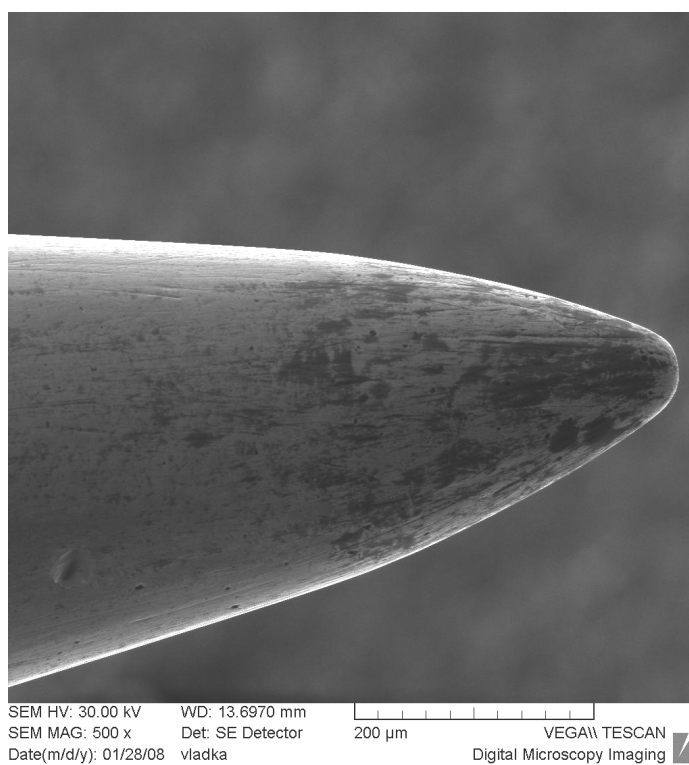


Obr. 4- 4 Detail hrotu jehly s chromovým povlakem ( 40 hod použití+UV+vlhkost)

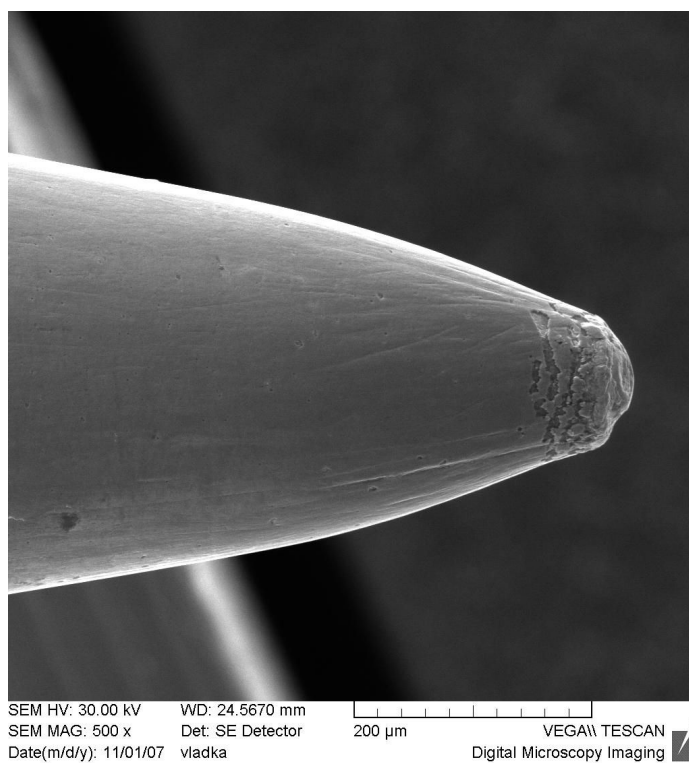
**Strojní šicí jehla s povlakem nitridu-titanu**



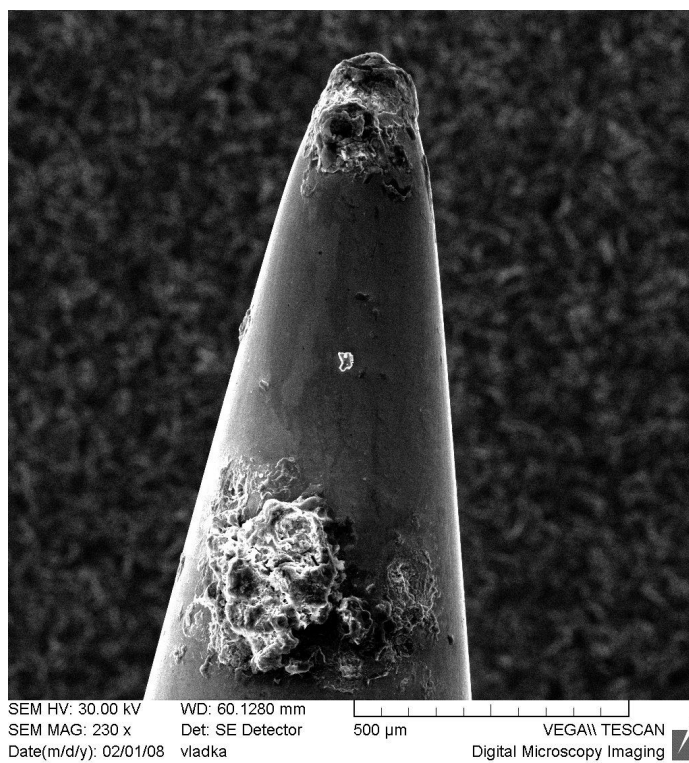
Obr. 4- 5 Detail hrotu jehly s TiN povlakem (0 hod použití)



Obr. 4- 6 Detail hrotu jehly s TiN povlakem (8 hod použití)

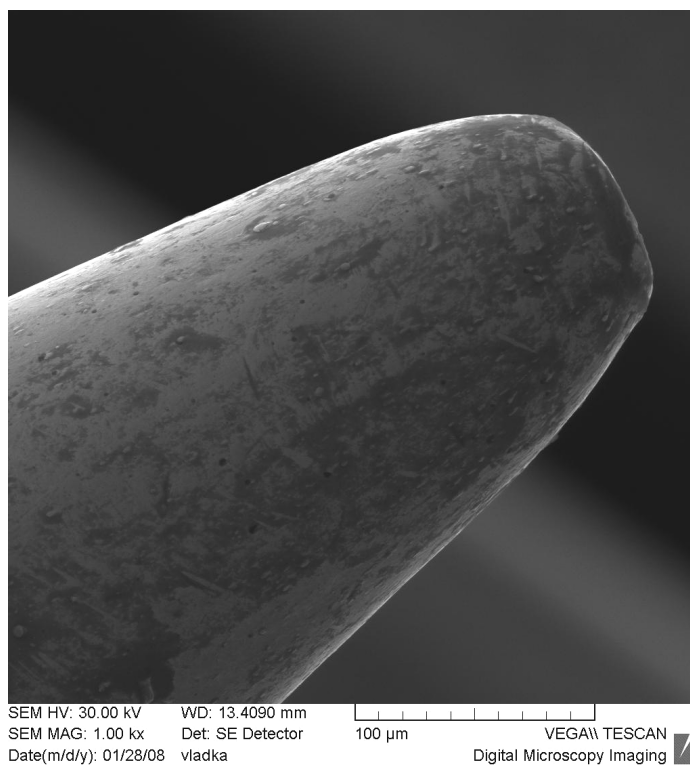


Obr. 4- 7 Detail hrotu jehly s TiN povlakem (40 hod použití)

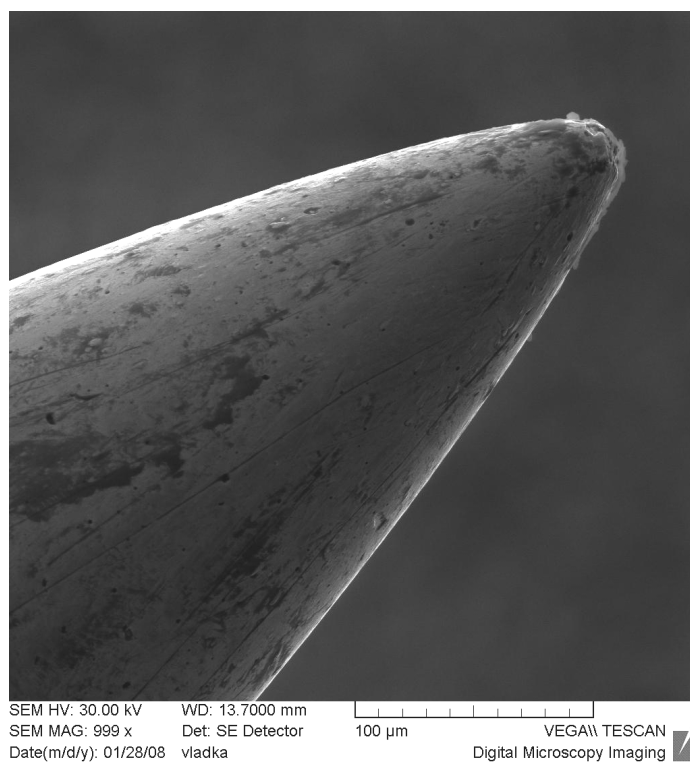


Obr. 4- 8 Detail hrotu jehly s TiN povlakem ( 40 hod použití+UV+vlhkost)

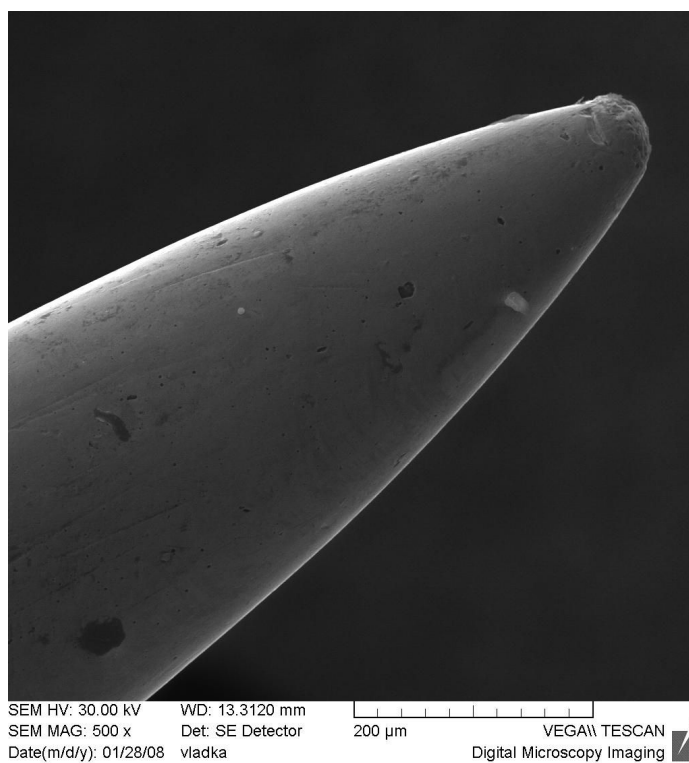
**Strojní šicí jehla s keramickým povlakem**



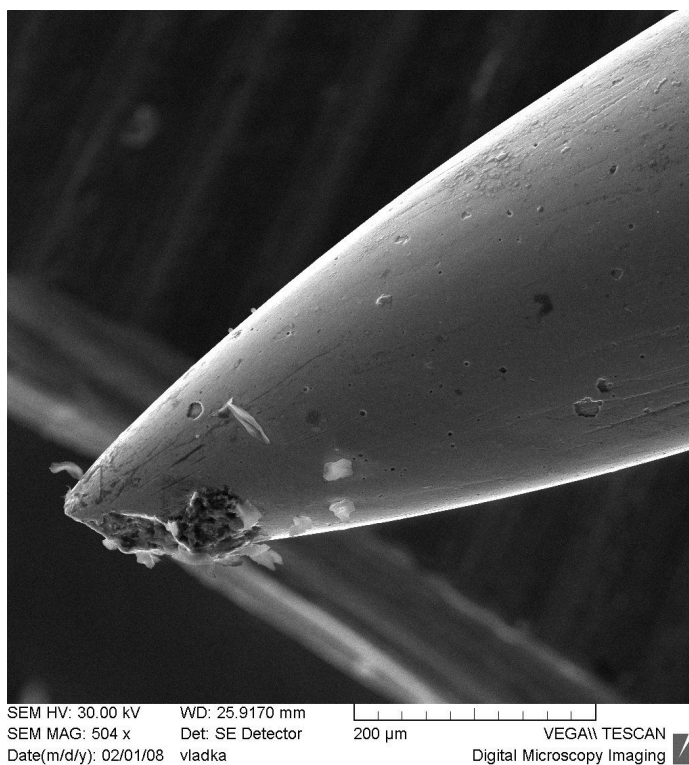
Obr. 4- 9 Detail hrotu jehly s keramickým povlakem (0 hod použití)



Obr. 4- 10 Detail hrotu jehly s keramickým povlakem (8 hod použití)

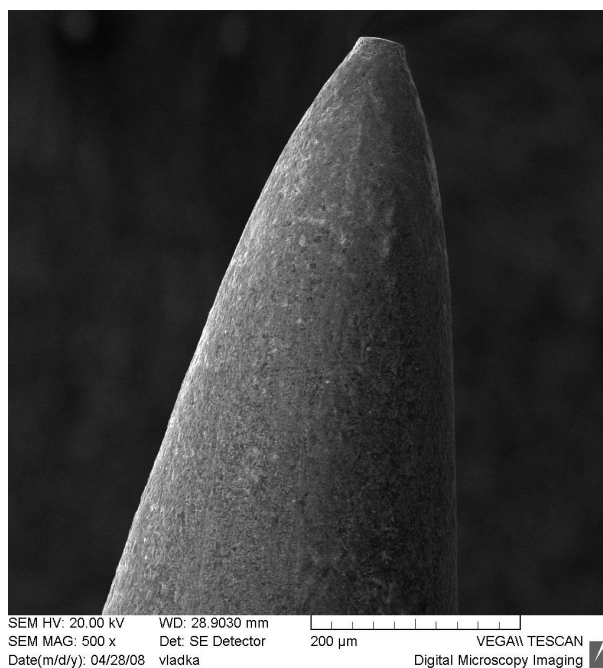


Obr. 4- 11 Detail hrotu jehly s keramickým povlakem (40 hod použití)

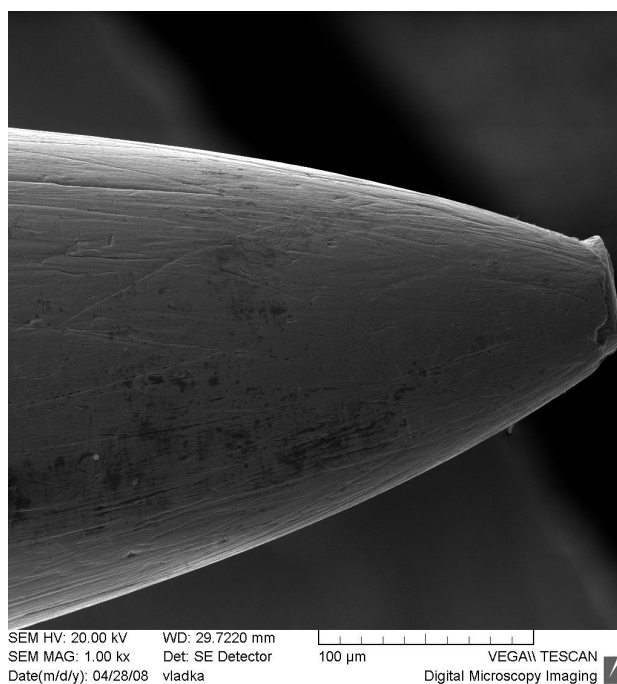


Obr. 4- 12 Detail hrotu jehly s keramickým povlakem (40 hod použití+UV+vlhkost)

**Strojní šicí jehla s teflonovým povlakem**



Obr. 4- 13 Detail hrotu jehly s teflonovým povlakem (0 hod použití)

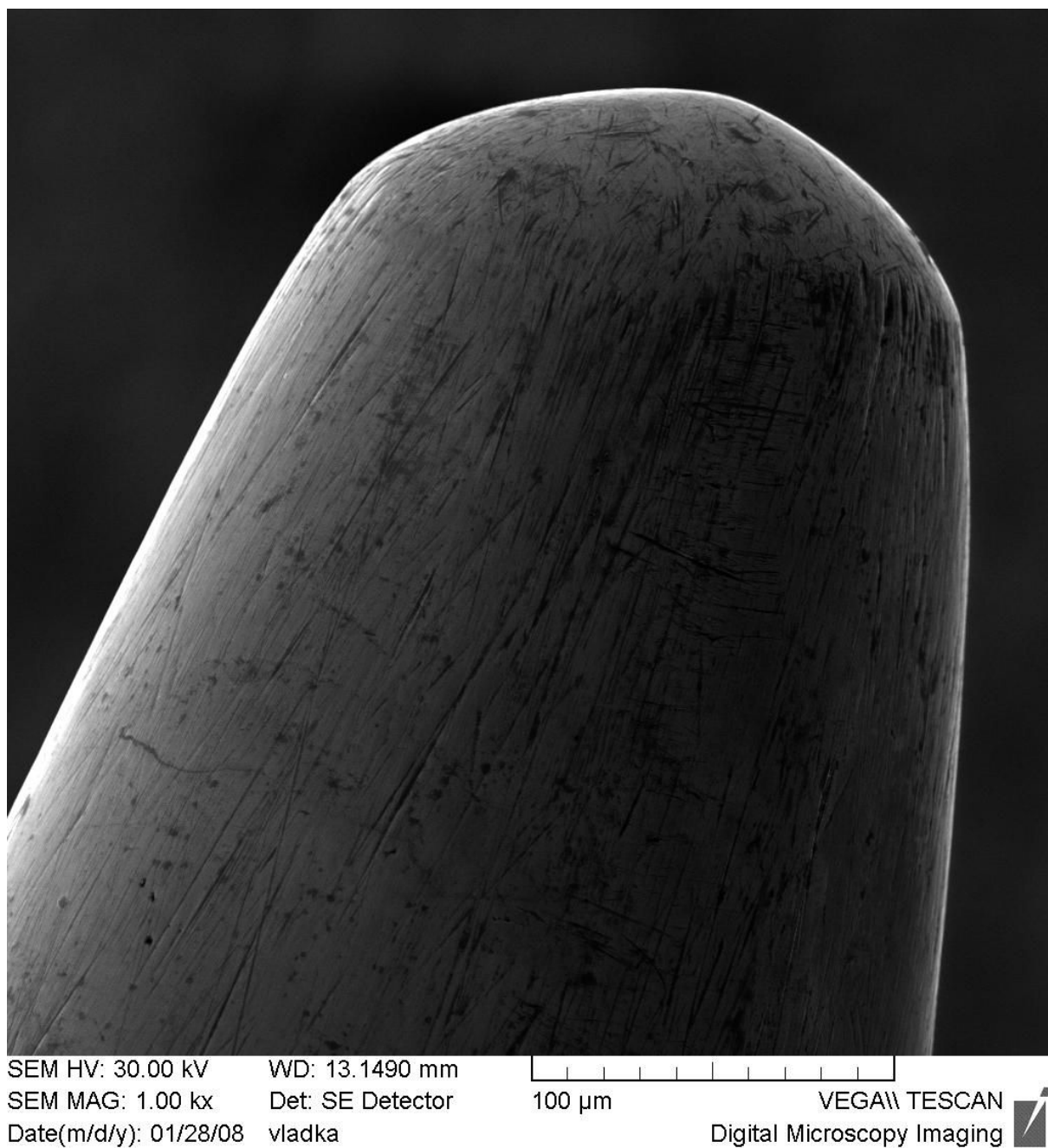


Obr. 4- 14 Detail hrotu jehly s teflonovým povlakem (8 hod použití)

**Příloha č.4**  
**Pokračování**

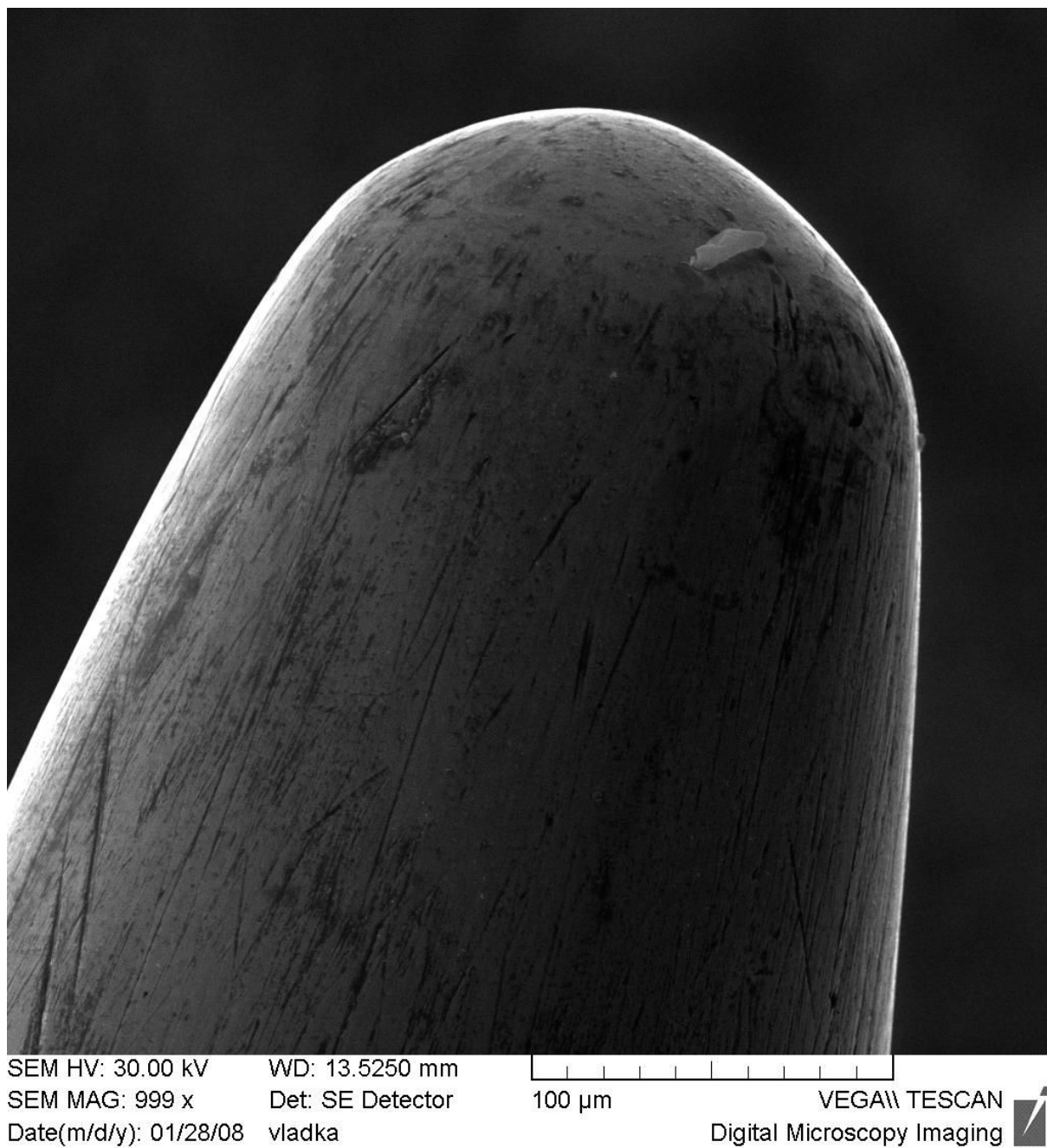


Obr. 4- 15 Detail hrotu jehly s teflonovým povlakem (40 hod použití)

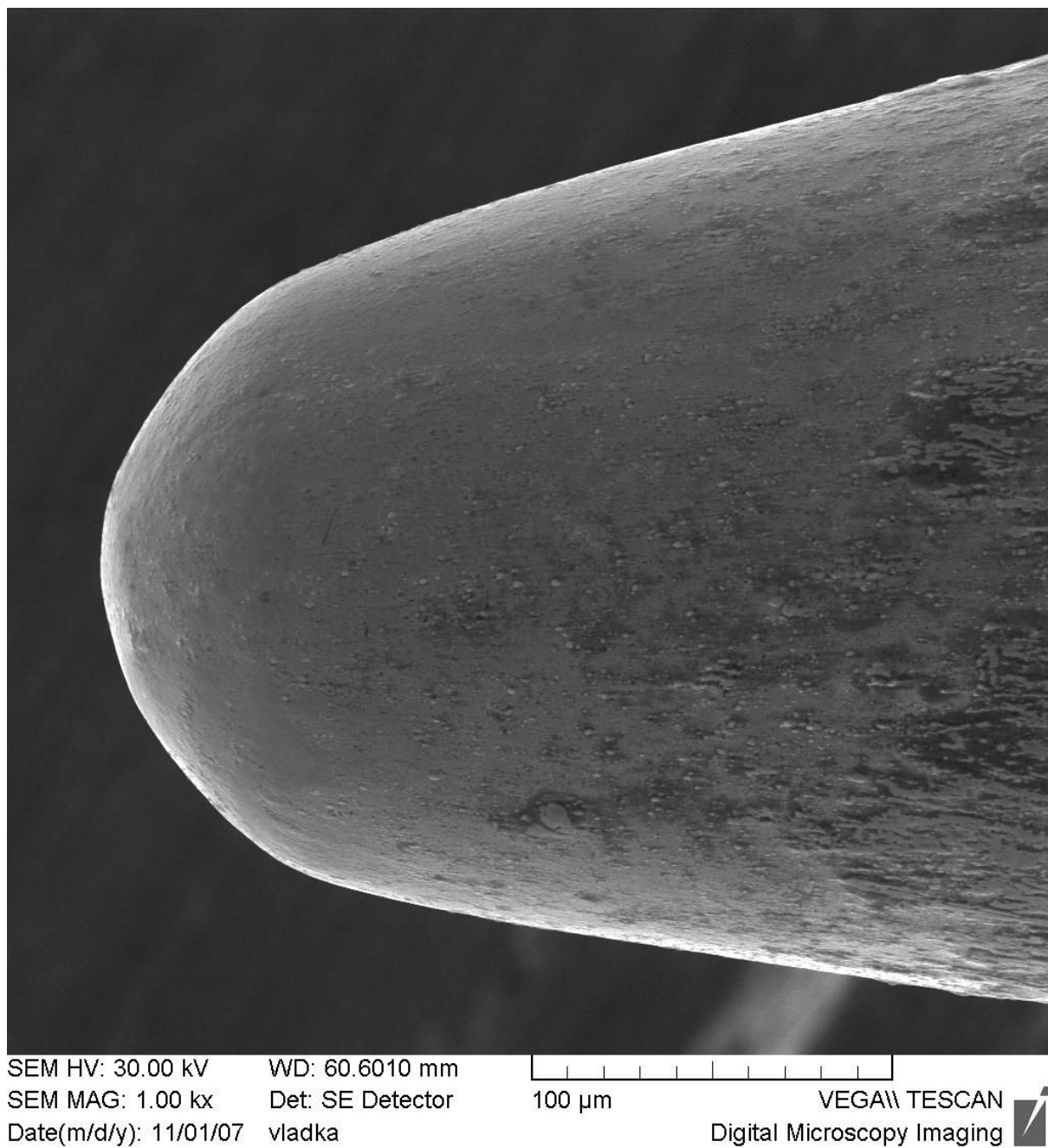


Obr. 5 – 1 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou chrómu ( 0 pracovních směn)

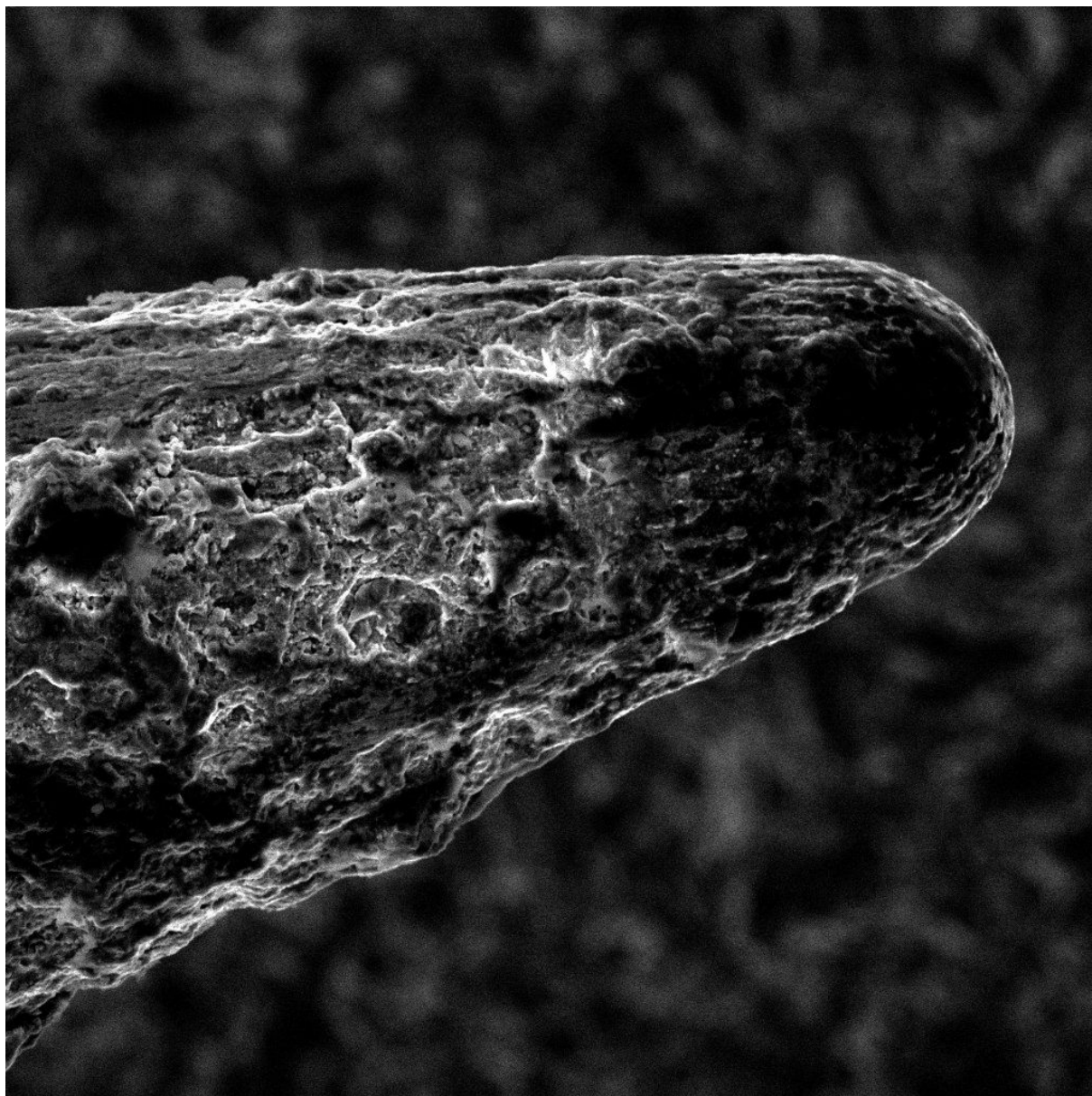




Obr. 5 – 2 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou chrómu ( 1 pracovní směna)



Obr. 5 – 3 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou chrómu ( 5 pracovních směn)



SEM HV: 30.00 kV  
SEM MAG: 503 x  
Date(m/d/y): 02/01/08

WD: 60.0380 mm  
Det: SE Detector  
vladka

200 µm

VEGA\\ TESCAN  
Digital Microscopy Imaging

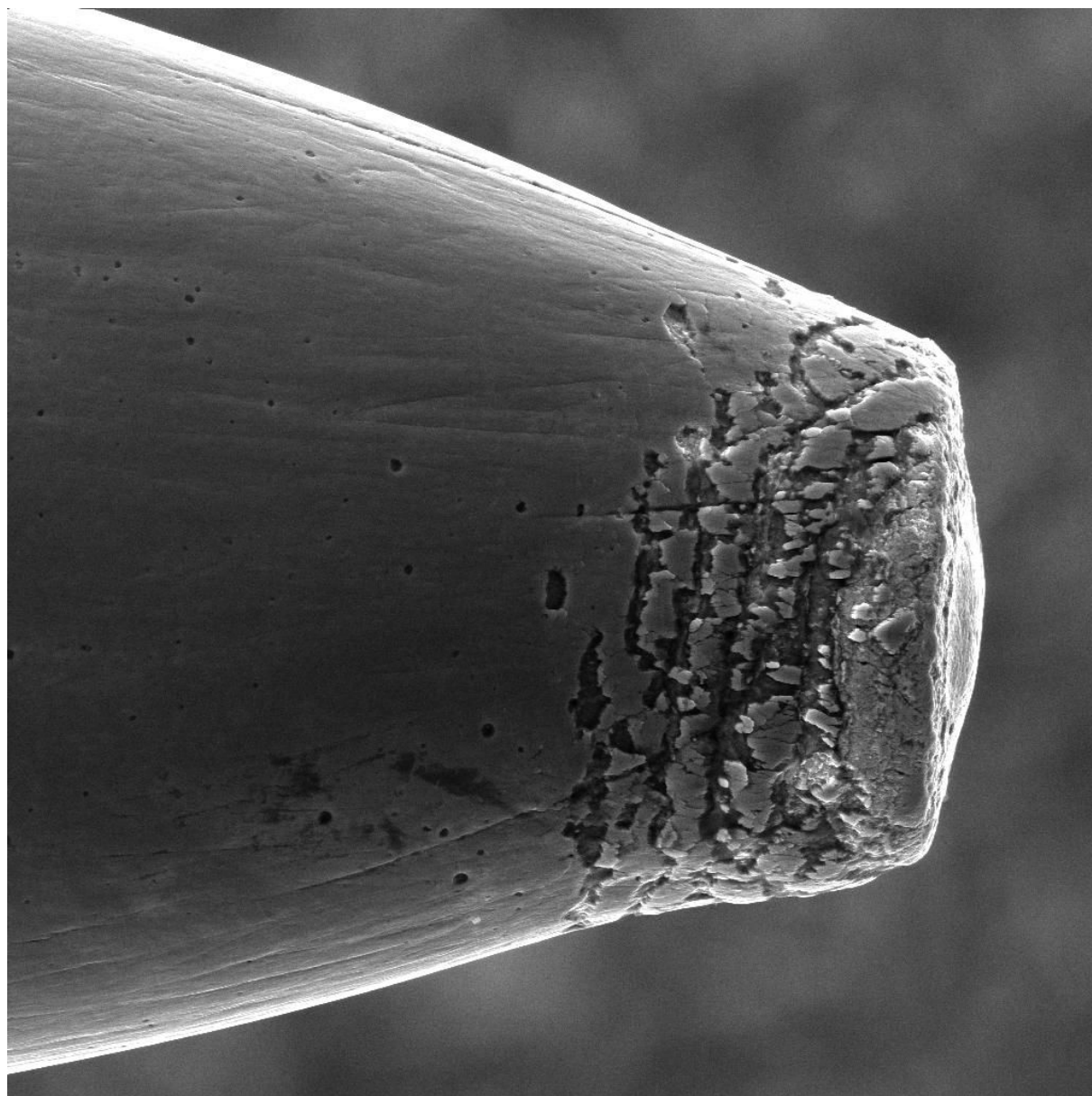
Obr. 5 – 4 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou chrómu ( 5pracovních  
směn + UV + 100% vlhkost)



Obr. 5 – 5 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou TiN ( 0 pracovních směn)



Obr. 5 – 6 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou TiN ( 1 pracovní směna)



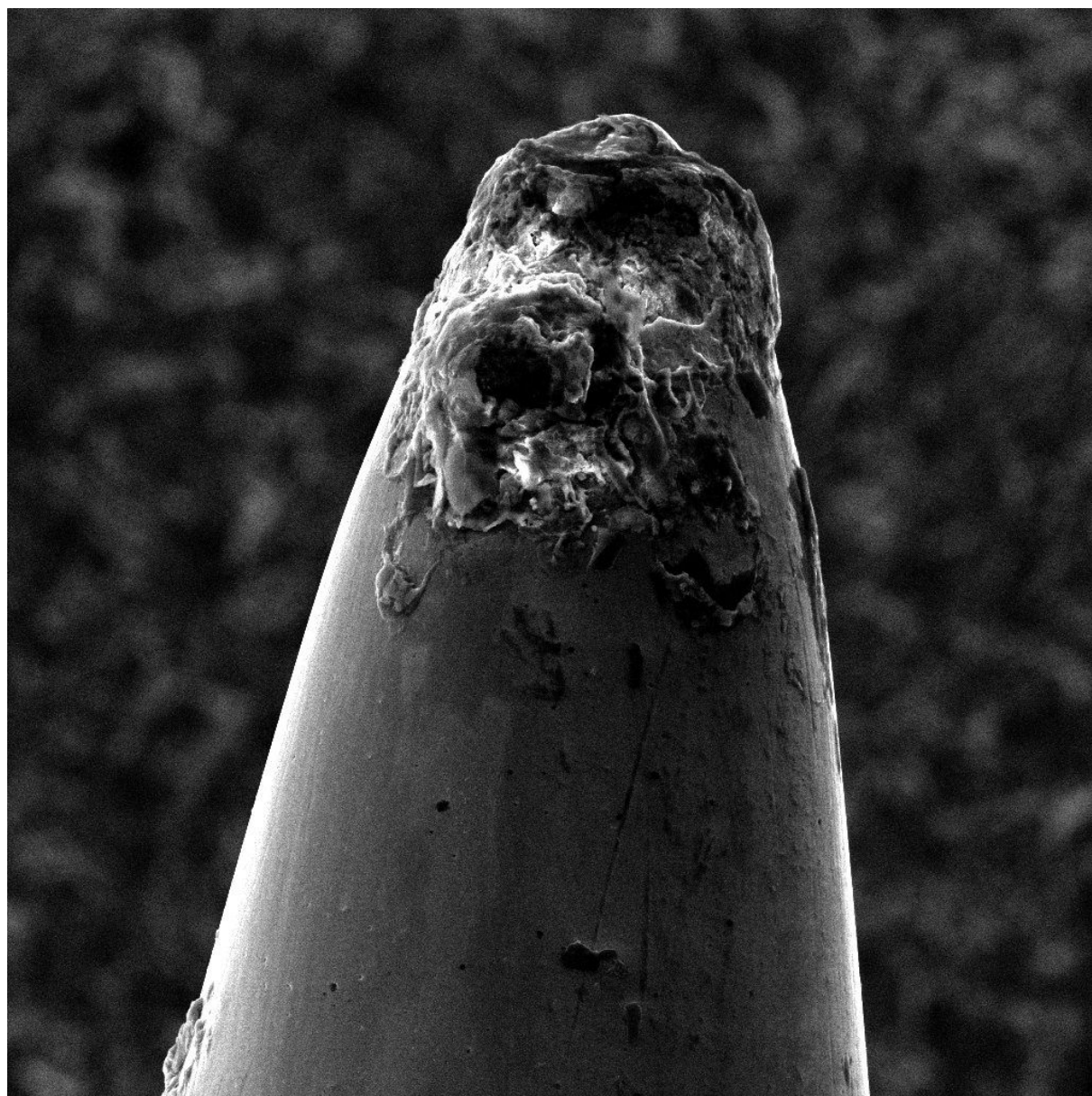
SEM HV: 30.00 kV WD: 24.8070 mm  
SEM MAG: 999 x Det: SE Detector  
Date(m/d/y): 11/01/07 vladka

100 µm VEGA\\ TESCAN  
Digital Microscopy Imaging



Obr. 5 – 7 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou TiN ( 5 pracovních směn)





SEM HV: 30.00 kV  
SEM MAG: 498 x  
Date(m/d/y): 02/01/08

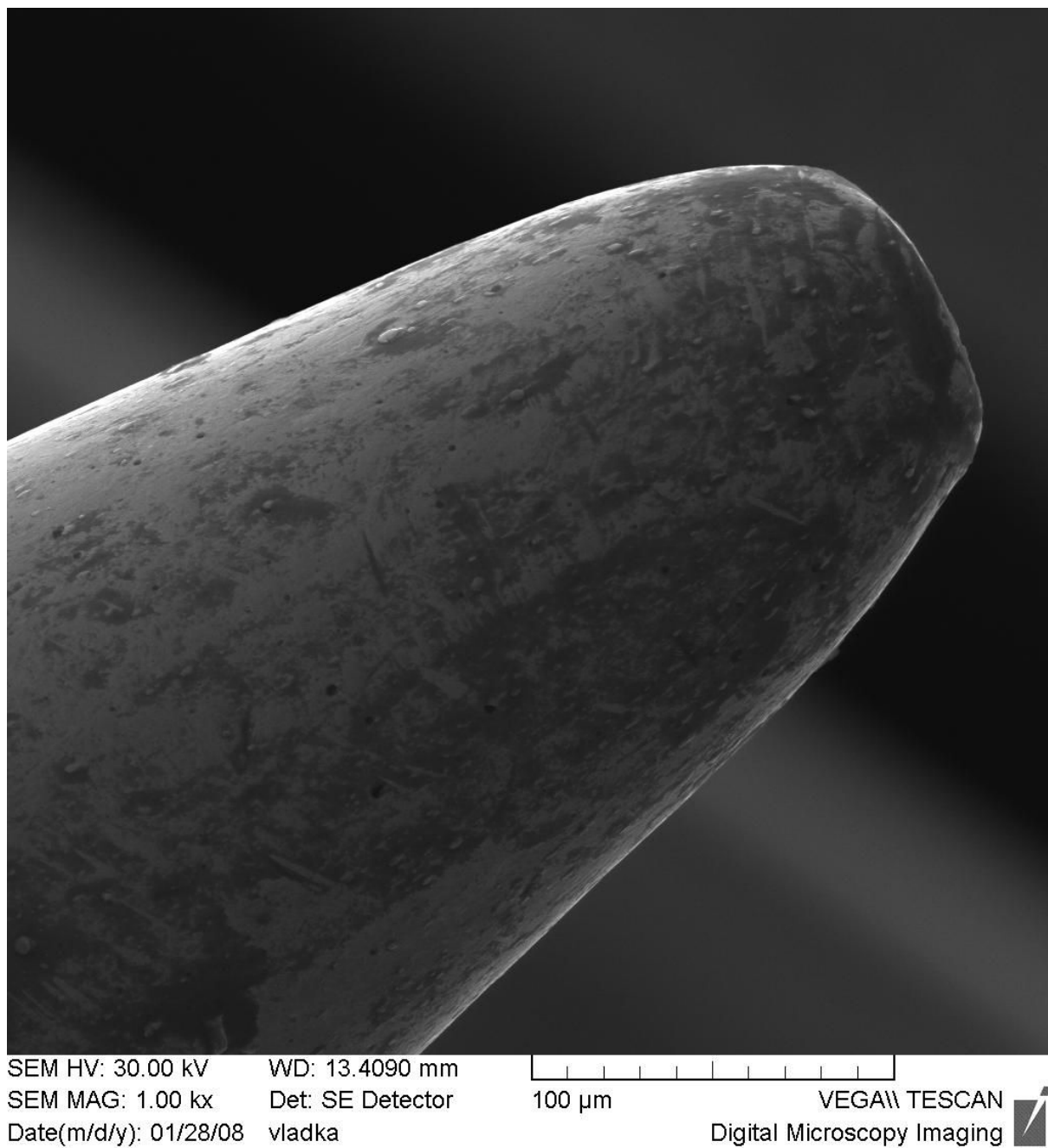
WD: 60.5600 mm  
Det: SE Detector  
vladka

200 µm

VEGA\\ TESCAN  
Digital Microscopy Imaging

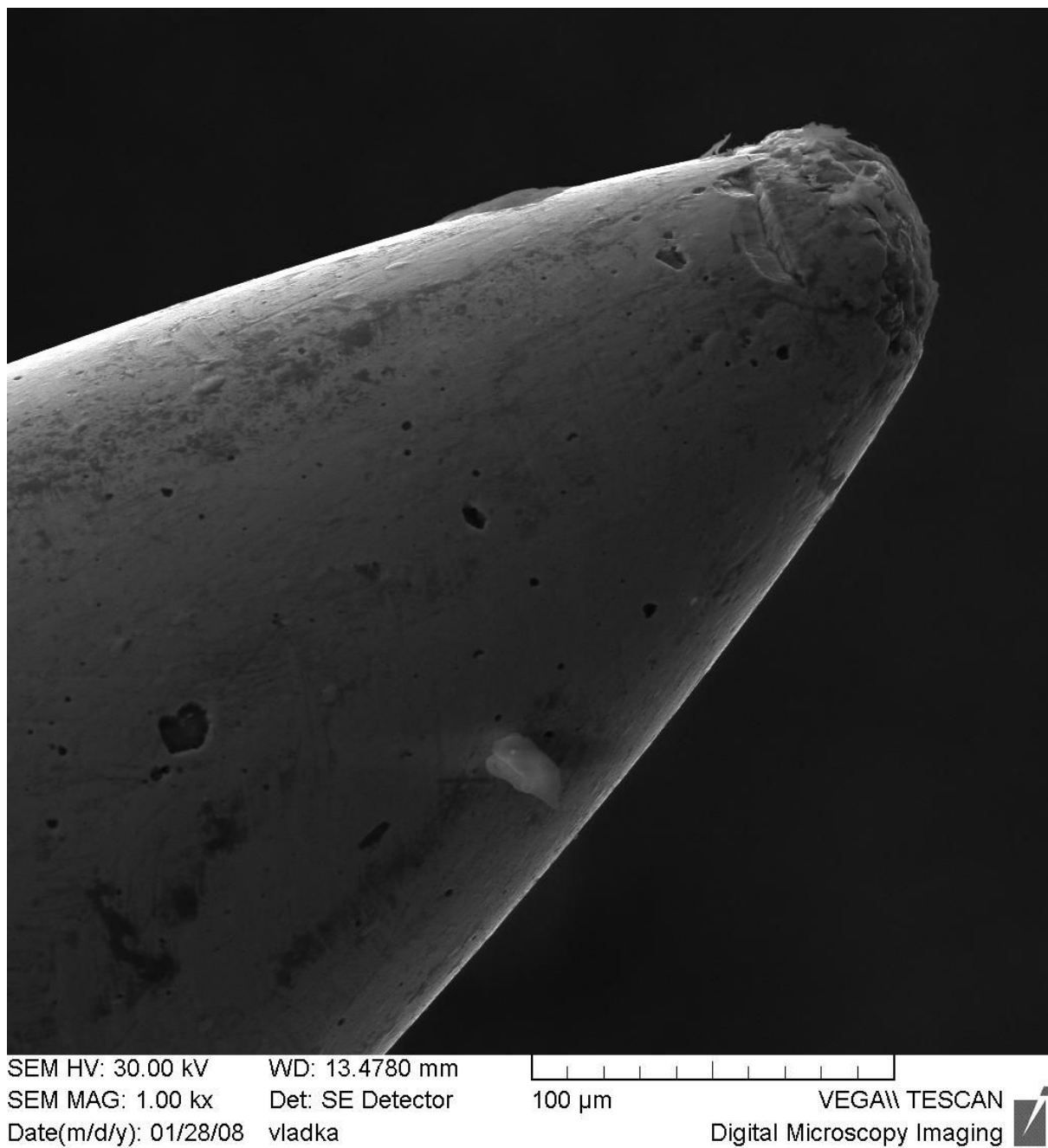


Obr. 5 – 8 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou TiN ( 5 pracovních  
směn + UV + 100% vlhkost)



Obr. 5 – 9 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou keramiky ( 0 pracovních směn)

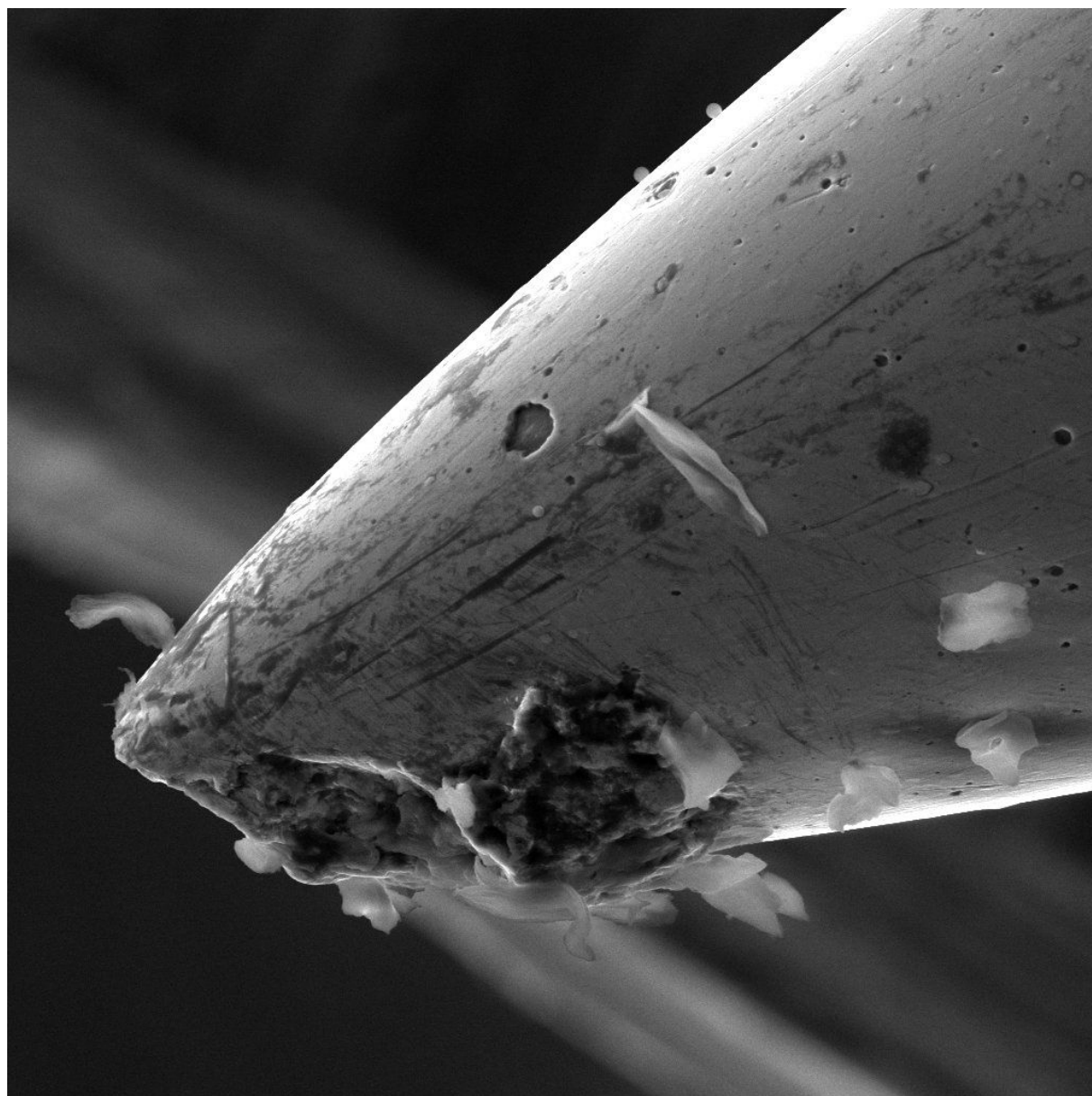




Obr. 5 – 10 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou keramiky ( 1 pracovní směna)

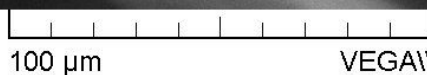


Obr. 5 – 11 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou keramiky ( 5 pracovních směn)



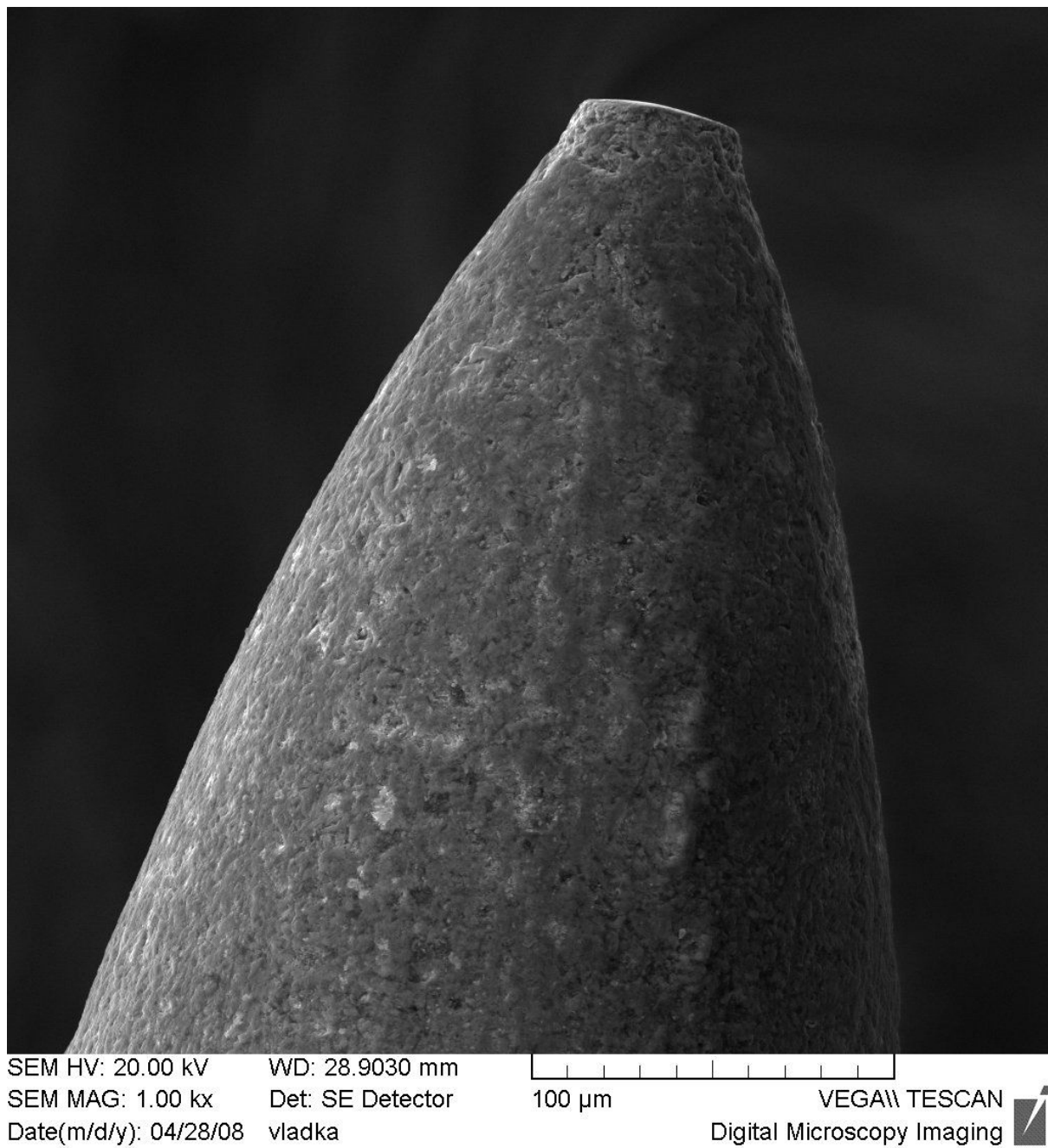
SEM HV: 30.00 kV  
SEM MAG: 1.02 kx  
Date(m/d/y): 02/01/08

WD: 25.9990 mm  
Det: SE Detector  
vladka

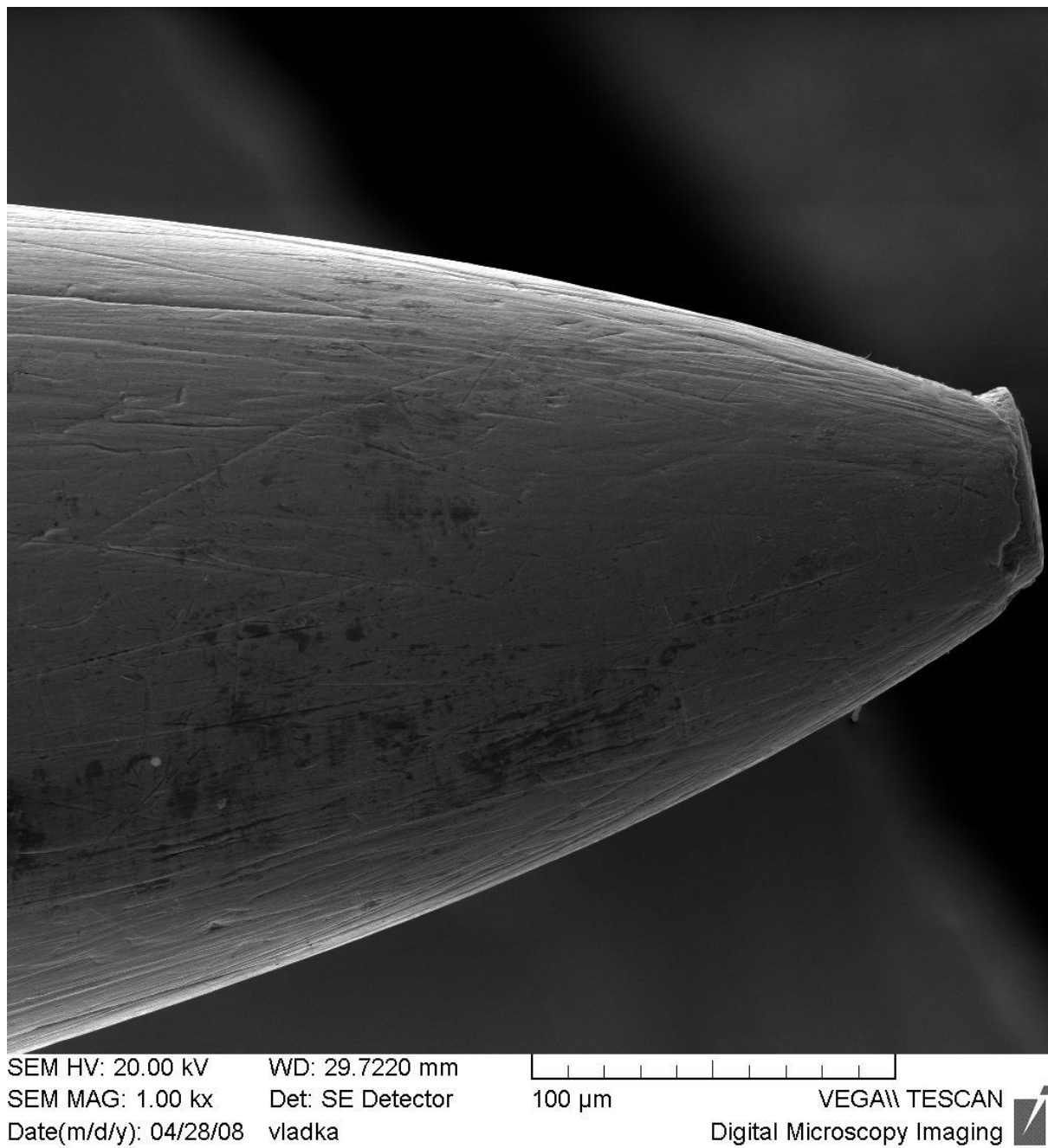


VEGA\\ TESCAN  
Digital Microscopy Imaging

Obr. 5 – 12 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou keramiky ( 5 pracovních směn + UV + 100% vlhkost)



Obr. 5 – 13 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou teflonu ( 0 pracovních směn)

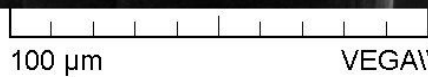


Obr. 5 – 14 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou teflonu ( 1 pracovní směna)



SEM HV: 20.00 kV  
SEM MAG: 1.00 kx  
Date(m/d/y): 04/28/08

WD: 29.6760 mm  
Det: SE Detector  
vladka



VEGA\\ TESCAN  
Digital Microscopy Imaging



Obr. 5 – 15 Detail hrotu strojní šicí jehly s povrchovou úpravou teflonu ( 5 pracovních směn)

## Příloha č. 6

### Drsnost ouška

**Tabulka 6-1 Naměřené hodnoty drsnosti ouška TRIANA 100 % CO 14 tex x 2 - nová šicí jehla**

Druh jehly s povrchovou úpravou /počet dvojzdvihů	Poř. číslo zkouš. jehly	Naměřená hodnota při 1. Zkoušce	Naměřená hodnota při 2. Zkoušce	Naměřená hodnota při 3. Zkoušce	$\bar{x}$	$s^2$	s	v
Keramickou	1.	16	22	18	15,33	19,00	4,36	0,28
	2.	20	15	15				
	3.	8	11	13				
Chromovou	1.	82	181	81	103,11	1340,11	36,61	0,36
	2.	84	145	71				
	3.	88	110	86				
TiN	1.	245	303	312	289,22	2245,19	47,38	0,16
	2.	234	289	346				
	3 .	222	296	356				
Teflonovou	1.	138	174	268	178,67	2413,75	49,13	0,27
	2.	154	182	204				
	3.	98	169	221				

**Příloha č. 6**  
pokračování

**Tabulka 6-2 Naměřené hodnoty drsnosti ouška TRIANA 100% CO 14 tex x 2 -  
použitá šicí jehla 1 směnu**

Druh jehly s povrchovou úpravou /počet dvojjzdvihů	Poř. číslo zkouš. jehly	Naměřená hodnota při 1. Zkoušce	Naměřená hodnota při 2. Zkoušce	Naměřená hodnota při 3. Zkoušce	$\bar{X}$	$S^2$	S	v
Keramickou	1.	27	11	20	18,11	32,11	5,67	0,31
	2.	17	19	23				
	3.	22	10	14				
Chromovou	1.	166	110	68	102,89	1247,61	35,32	0,34
	2.	103	95	84				
	3.	143	106	51				
TiN	1.	109	129	127	118,22	76,19	8,73	0,07
	2.	124	118	115				
	3 .	117	123	102				
Teflonovou	1.	100	124	163	119,11	654,11	25,58	0,22
	2.	89	121	146				
	3.	88	108	133				



**Příloha č. 6**  
pokračování

**Tabulka 6-3 Naměřené hodnoty drsnosti ouška TRIANA 100% CO 14 tex x 2 -  
použitá šicí jehla 5 směn**

Druh jehly s povrchovou úpravou /počet dvojjzdvihů	Poř. číslo zkouš. jehly	Naměřená hodnota při 1. Zkoušce	Naměřená hodnota při 2. Zkoušce	Naměřená hodnota při 3. Zkoušce	$\bar{X}$	$S^2$	S	v
Keramickou	1.	21	20	17	19,67	7,5	2,74	0,14
	2.	22	21	14				
	3.	23	20	19				
Chromovou	1.	103	143	113	114,78	315,94	17,77	0,15
	2.	105	124	114				
	3.	82	133	116				
TiN	1.	216	271	284	241,00	1558,00	39,47	0,16
	2.	203	211	281				
	3 .	209	292	202				
Teflonovou	1.	124	153	151	143,67	289,00	17,00	0,12
	2.	122	149	162				
	3.	119	154	159				

**Příloha č. 6**  
pokračování

**Tabulka 6-4 Naměřené hodnoty drsnosti ouška BELFIL S 100% PL - nová šicí jehla**

Druh jehly s povrchovou úpravou /počet dvojjzdvihů	Poř. číslo zkouš. jehly	Naměřená hodnota při 1. Zkoušce	Naměřená hodnota při 2. Zkoušce	Naměřená hodnota při 3. Zkoušce	$\bar{X}$	$S^2$	S	v
Keramickou	1.	67	173	89	95,56	1495,53	38,67	0,41
	2.	77	133	78				
	3.	58	121	64				
Chromovou	1.	250	92	123	136,00	2832,00	53,22	0,39
	2.	139	77	136				
	3.	186	99	122				
TiN	1.	300	222	173	233,67	5518,50	74,29	0,32
	2.	324	201	139				
	3 .	339	251	154				
Teflonovou	1.	257	178	133	191,33	1425,00	37,75	0,20
	2.	226	199	198				
	3.	201	146	184				

**Příloha č. 6**  
pokračování

**Tabulka 6-5 Naměřené hodnoty drsnosti ouška BELFIL S 100% PL - použítá šicí  
jehla 1 směnu**

Druh jehly s povrchovou úpravou /počet dvojzdvihů	Poř. číslo zkouš. jehly	Naměřená hodnota při 1. Zkoušce	Naměřená hodnota při 2. Zkoušce	Naměřená hodnota při 3. Zkoušce	$\bar{X}$	$S^2$	S	v
Keramickou	1.	112	44	72	70,22	972,44	31,18	0,44
	2.	120	47	51				
	3.	90	31	65				
Chromovou	1.	123	142	231	172,22	2114,44	45,98	0,27
	2.	140	185	226				
	3.	106	210	187				
TiN	1.	121	166	219	184,33	2710,25	52,06	0,28
	2.	126	198	283				
	3 .	176	148	222				
Teflonovou	1.	73	160	181	140,00	1640,25	40,50	0,29
	2.	88	133	171				
	3.	111	169	174				

**Příloha č. 6**  
pokračování

**Tabulka 6-6 Naměřené hodnoty drsnosti ouška BELFIL S 100% PL - použítá šicí jehla 5 směn**

Druh jehly s povrchovou úpravou /počet dvojjzdvihů	Poř. číslo zkouš. jehly	Naměřená hodnota při 1. Zkoušce	Naměřená hodnota při 2. Zkoušce	Naměřená hodnota při 3. Zkoušce	$\bar{X}$	$S^2$	S	v
Keramickou	1.	95	88	38	73,44	578,03	24,04	0,33
	2.	99	64	52				
	3.	95	86	44				
Chromovou	1.	321	266	214	265,33	2137,75	46,24	0,17
	2.	345	232	217				
	3.	287	273	233				
TiN	145	221	207	145	198,33	2433,50	49,33	0,25
	174	180	313	174				
	175	162	208	175				
Teflonovou	1.	189	209	215	203,89	117,11	10,82	0,05
	2.	197	204	200				
	3.	194	203	224				

**Příloha č. 6**  
pokračování

**Tabulka 6-7 Naměřené hodnoty drsnosti ouška SABA<sup>c</sup> PL/PL 14 tex x 2- nová šicí jehla**

Druh jehly s povrchovou úpravou /počet dvojjzdvihů	Poř. číslo zkouš. jehly	Naměřená hodnota při 1. Zkoušce	Naměřená hodnota při 2. Zkoušce	Naměřená hodnota při 3. Zkoušce	$\bar{X}$	$S^2$	S	v
Keramickou	1.	95	69	123	98,22	1457,44	38,18	0,39
	2.	86	68	172				
	3.	106	43	122				
Chromovou	1.	211	113	273	172,56	2587,53	50,86	0,29
	2.	156	137	149				
	3.	187	124	203				
TiN	1.	265	398	217	291,33	4479,50	66,93	0,23
	2.	298	343	234				
	3 .	283	370	214				
Teflonovou	1.	308	217	186	233,44	2453,53	49,53	0,21
	2.	304	215	192				
	3.	280	204	195				

**Příloha č. 6**  
pokračování

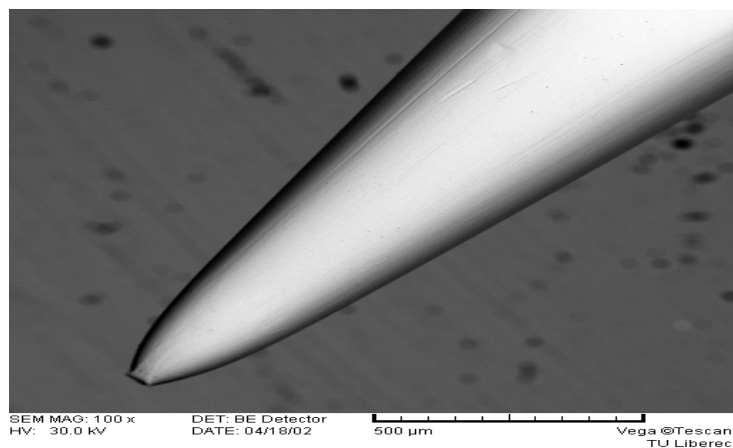
**Tabulka 6-8 Naměřené hodnoty drsnosti ouška SABA<sup>C</sup> PL/PL 14 tex x 2- použitá šicí jehla 1 směnu**

Druh jehly s povrchovou úpravou /počet dvojjzdvihů	Poř. číslo zkouš. jehly	Naměřená hodnota při 1. Zkoušce	Naměřená hodnota při 2. Zkoušce	Naměřená hodnota při 3. Zkoušce	$\bar{X}$	$S^2$	S	v
Keramickou	1.	104	111	109	92,89	178,86	13,37	0,14
	2.	93	95	90				
	3.	73	82	79				
Chromovou	1.	136	220	184	190,44	1186,03	34,44	0,18
	2.	156	241	196				
	3.	212	210	159				
TiN	1.	149	116	199	148,33	702,50	26,50	0,15
	2.	158	138	164				
	3 .	123	123	165				
Teflonovou	1.	286	219	183	223,33	3667,50	60,56	0,27
	2.	276	244	144				
	3.	296	233	129				

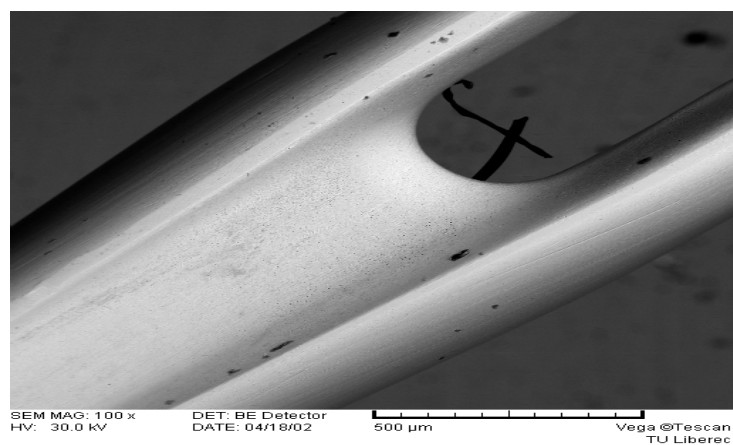
**Příloha č. 6**  
pokračování

**Tabulka 6-9 Naměřené hodnoty drsnosti ouška SABA<sup>C</sup> PL/PL 14 tex x 2 - použitá šicí jehla 5 směn**

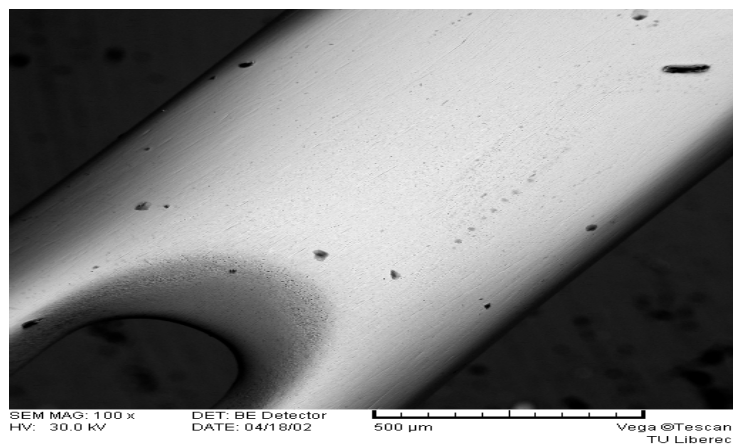
Druh jehly s povrchovou úpravou /počet dvojjzdvihů	Poř. číslo zkouš. jehly	Naměřená hodnota při 1. Zkoušce	Naměřená hodnota při 2. Zkoušce	Naměřená hodnota při 3. Zkoušce	$\bar{X}$	$S^2$	S	v
Keramickou	1.	125	135	86	114,11	506,11	22,50	0,20
	2.	123	140	90				
	3.	101	138	89				
Chromovou	1.	350	269	330	322,56	1088,53	32,99	0,10
	2.	347	282	320				
	3.	370	302	333				
TiN	1.	157	112	204	165,44	3336,27	57,76	0,35
	2.	192	88	223				
	3 .	171	93	249				
Teflonovou	1.	234	296	365	272,33	2264,5	47,59	0,17
	2.	214	249	301				
	3.	228	265	299				



Obr. 7-1 Pohled na špičku s hrotem šicí jehly s povrchovou úpravou chróm (po jedné pracovní směně)

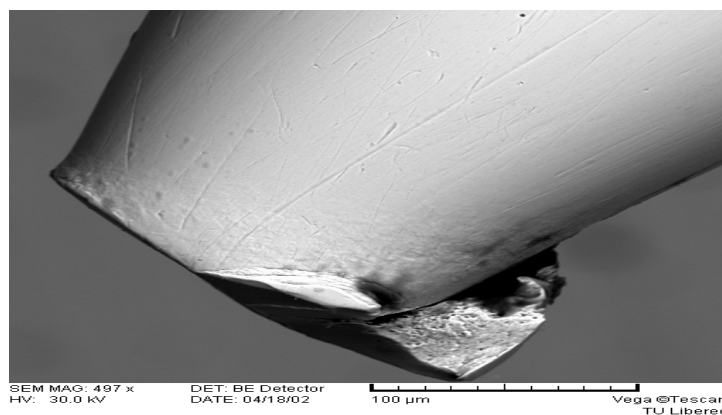


Obr. 7 – 2 Pohled na šicí jehlu v oblasti ouška s povrchovou úpravou chróm (po jedné pracovní směně)

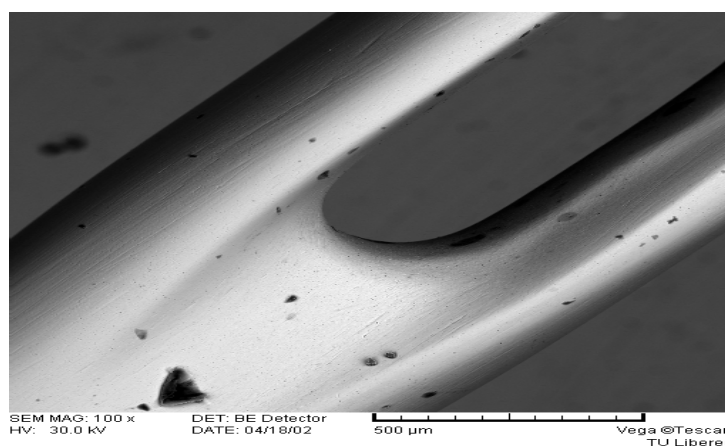


Obr. 7 – 3 Pohled na stvol šicí jehly s povrchovou úpravou chróm (po jedné pracovní směně)

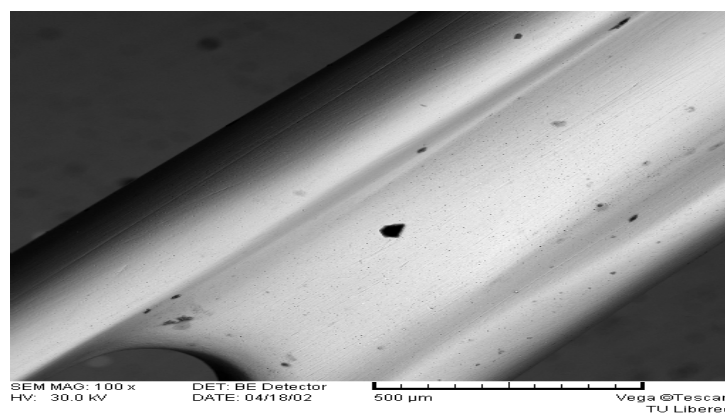




Obr. 7 –4 Detail hrotu šicí jehly s povrchovou úpravou chrómu (po jedné pracovní směně)

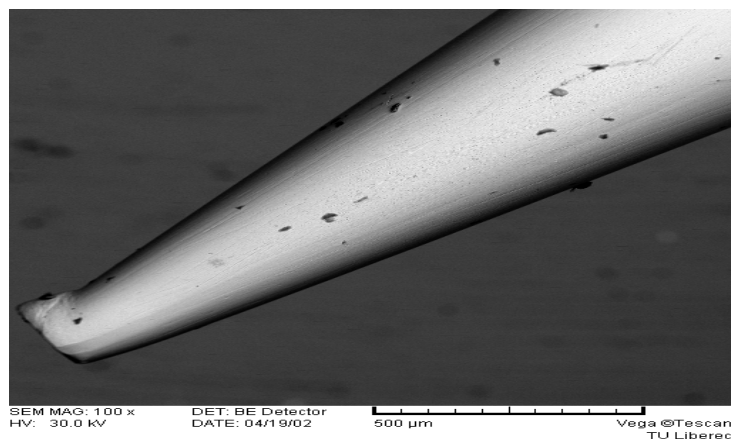


Obr. 7 –5 Pohled na šicí jehlu v oblasti ouška s povrchovou úpravou chrómu (po jedné pracovní směně)

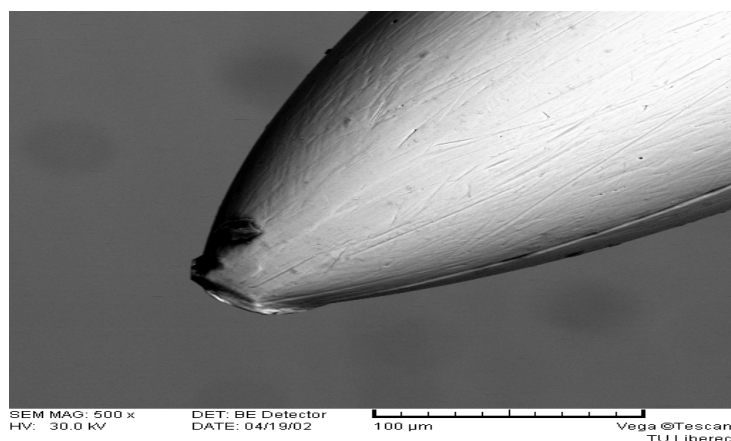


Obr. 7 – 6 Pohled na stvol šicí jehly s povrchovou úpravou chrómu (po jedné pracovní směně)

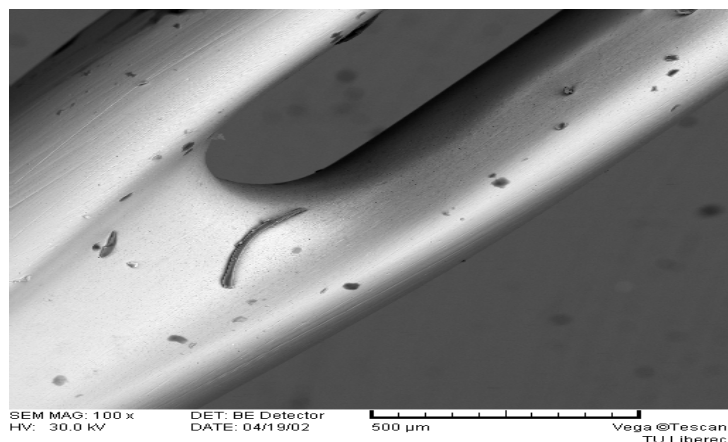
**Příloha č. 7**  
**pokračování**



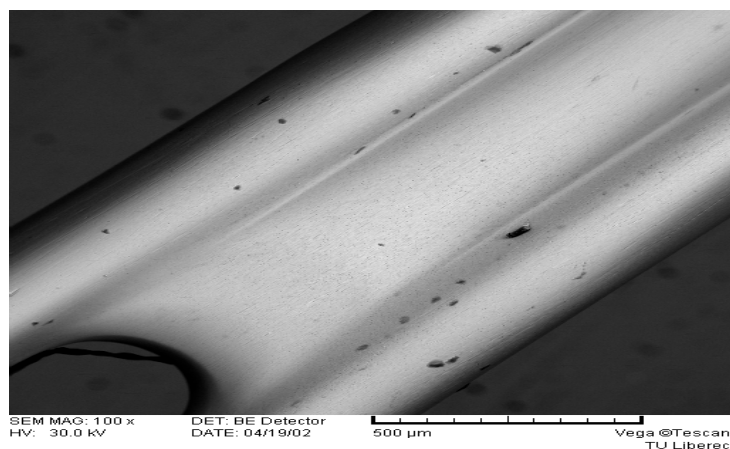
Obr. 7- 7 Pohled na špičku s hrotem šicí jehly s povrchovou úpravou chróm (po 5 pracovních směnách)



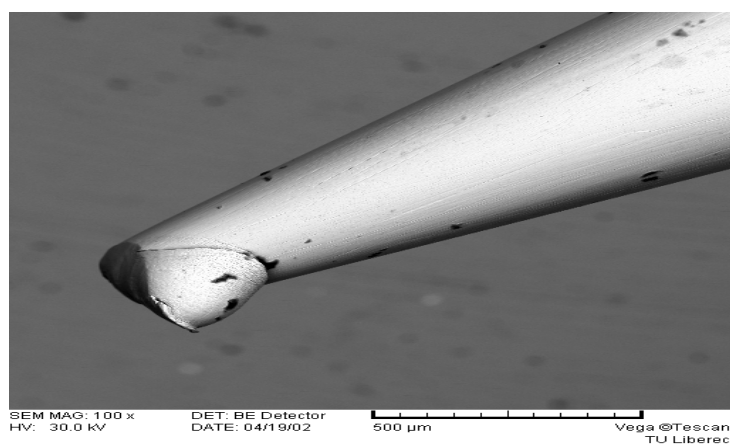
Obr. 7 – 8 Pohled na detail hrotu šicí jehly s povrchovou úpravou chróm (po 5 pracovních směnách)



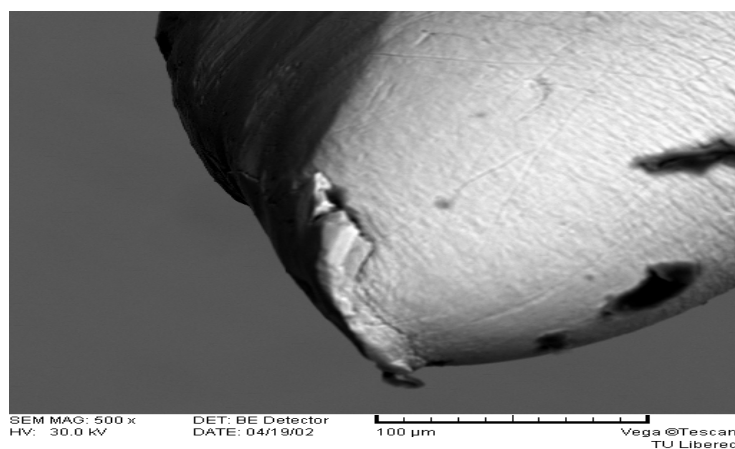
Obr. 7 – 9 Pohled na šicí jehlu v oblasti ouška s povrchovou úpravou chróm (po 5 pracovních směnách)



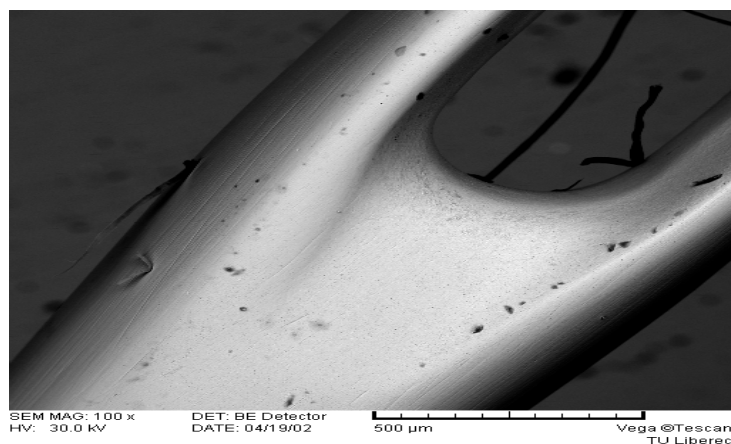
Obr. 7 – 10 Pohled na stvol šicí jehly s povrchovou úpravou chróm (po 5 pracovních směnách)



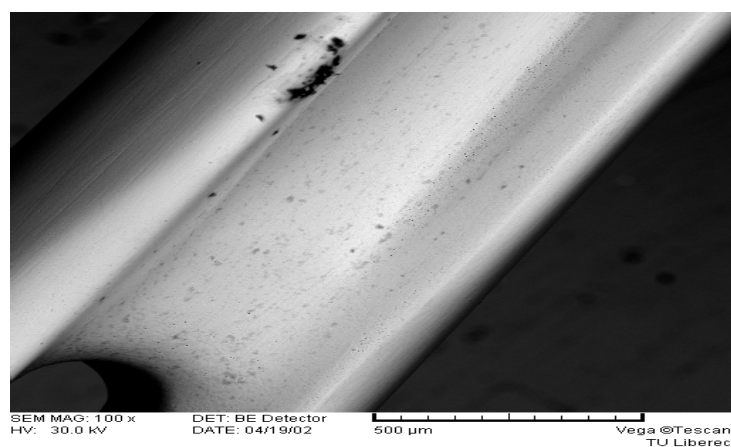
Obr. 7 – 11 Pohled na špičku s hrotem šicí jehly s povrchovou úpravou chrómu (po 5 pracovních směnách)



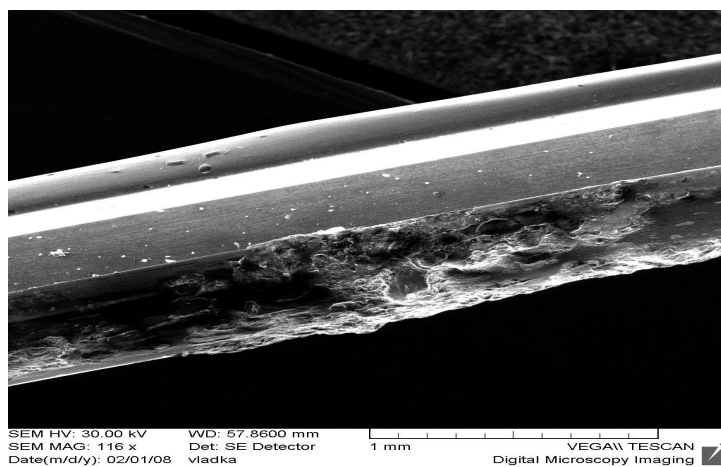
Obr. 7– 12 Detail hrotu šicí jehly s povrchovou úpravou chrómu (po 5 pracovních směnách)



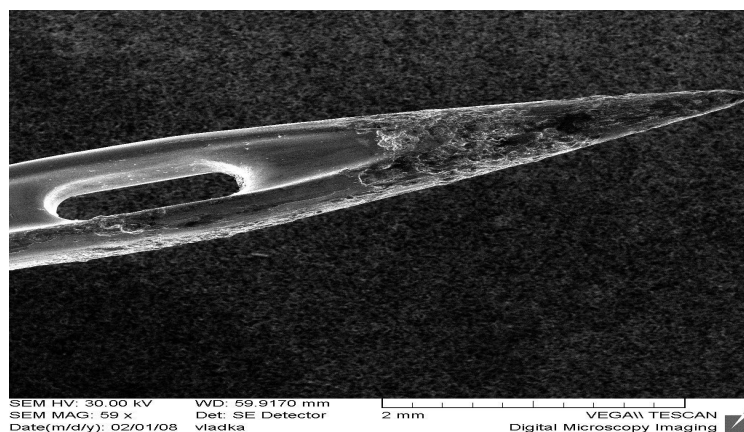
Obr. 7– 13 Pohled na ouško šicí jehly s povrchovou úpravou chrómu (po 5 pracovních směnách)



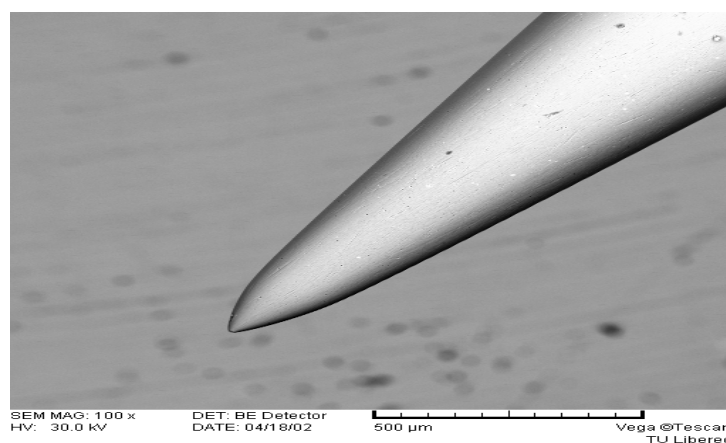
Obr. 7 – 14 Pohled na stvol šicí jehly s povrchovou úpravou chrómu (po 5 pracovních směnách)



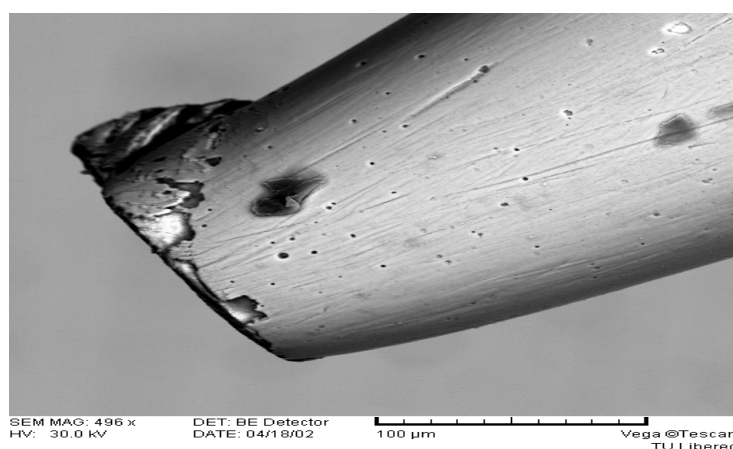
Obr. 7-15 Detail stvolu jehly s chromovým povlakem (po 5 pracovních směnách + UV+100% vlhkost)



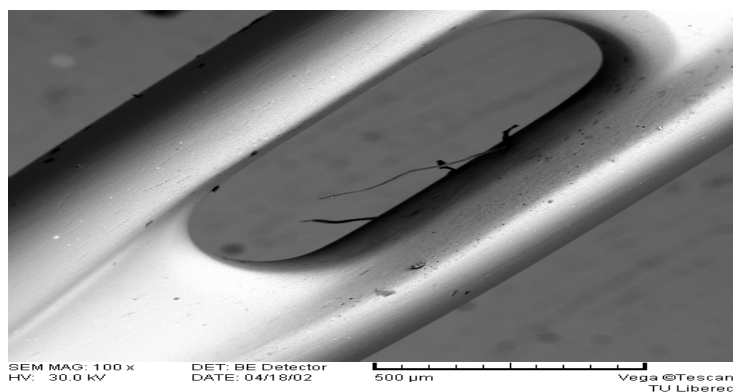
Obr. 7-16 Detail hrotu jehly s chromovým povlakem (po 5 pracovních směnách +UV+100% vlhkost)



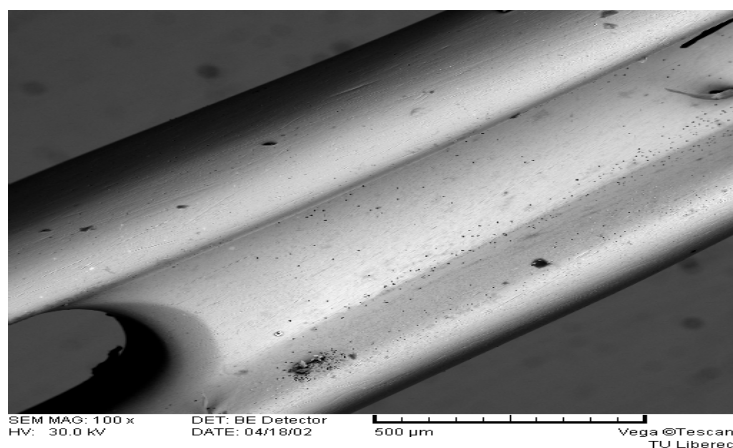
Obr. 7 – 17 Pohled na špičku s hrotem šicí jehly s povrchovou úpravou nitrid titan (po jedné pracovní směně)



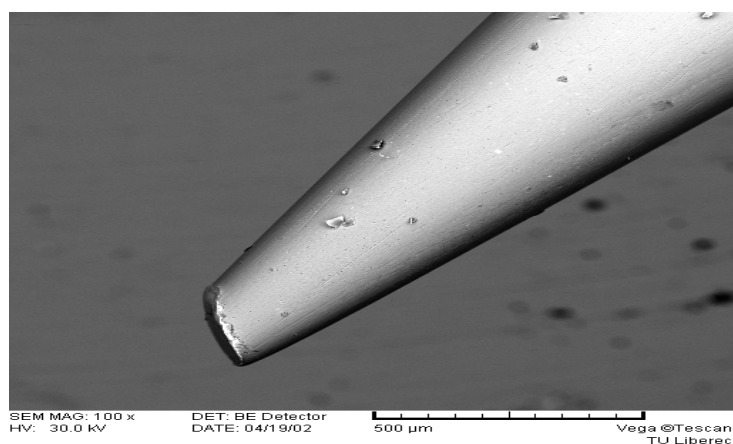
Obr. 7 – 18 Pohled na detail hrotu šicí jehly s povrchovou úpravou nitrid titan (po jedné pracovní směně)



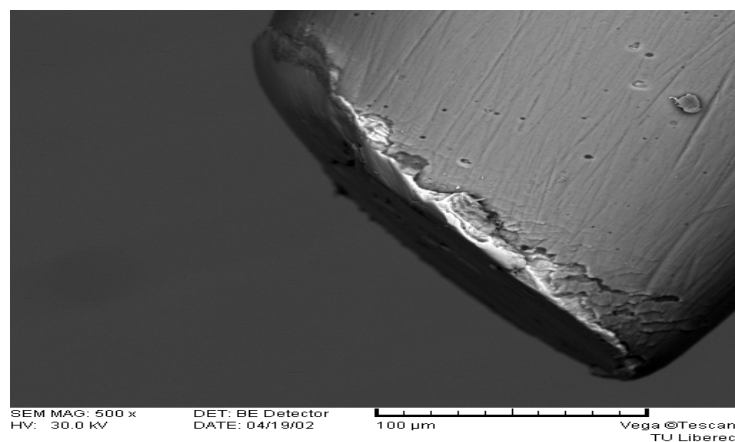
Obr. 7- 19 Pohled na šicí jehlu v oblasti ouška s povrchovou úpravou nitrid titan ( po jedné pracovní směně)



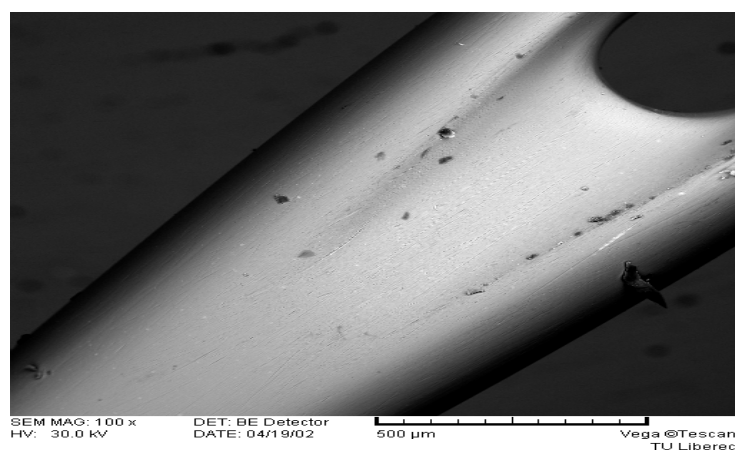
Obr. 7 – 20 Pohled na stvol šicí jehly s povrchovou úpravou nitrid titan (po jedné pracovní směně)



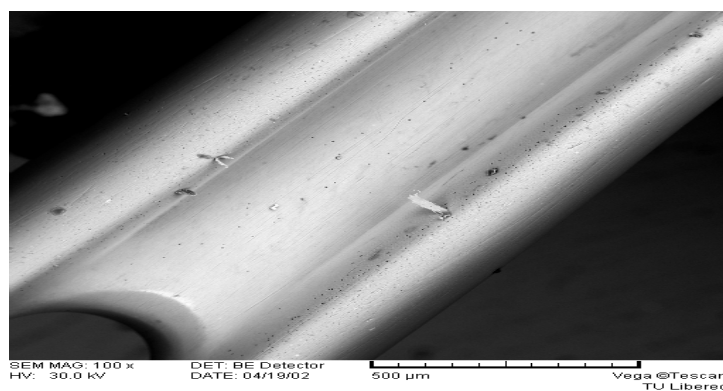
Obr. 7 – 21 Pohled na špičku s hrotem šicí jehly s povrchovou úpravou nitrid titan (po 5 pracovních směnách)



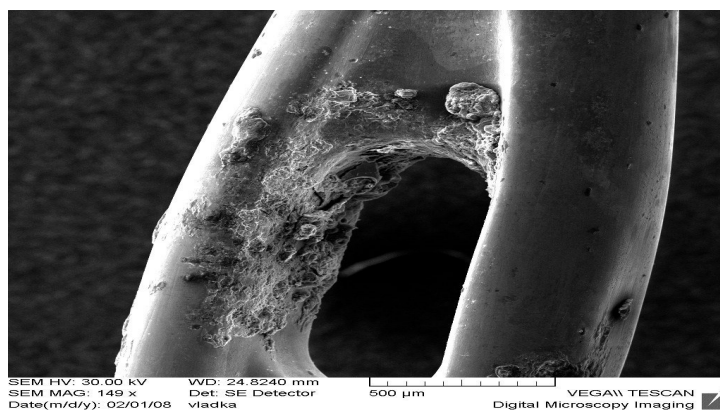
Obr. 7 – 22 Pohled na detail hrotu šicí jehly s povrchovou úpravou nitrid titan (po 5 pracovních směnách)



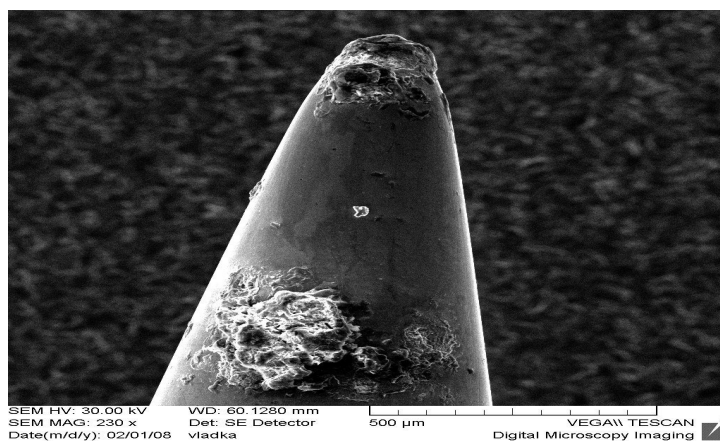
Obr. 7 – 23 Pohled na šicí jehlu v oblasti ouška s povrchovou úpravou nitrid titan (po 5 pracovních směnách)



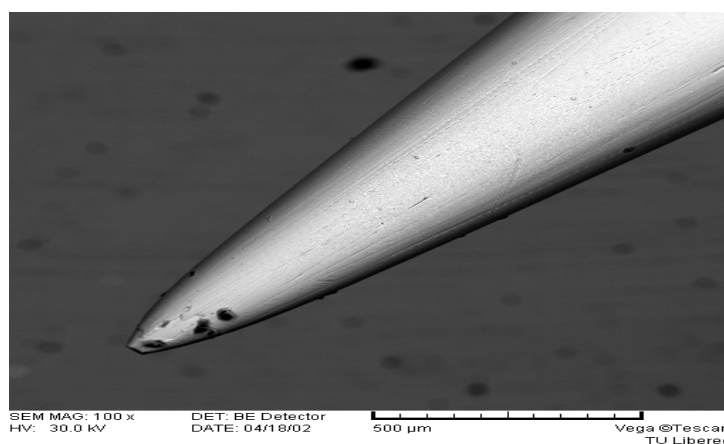
Obr. 7 – 24 Pohled na stvol šicí jehly s povrchovou úpravou nitridu titanu ( po 5 pracovních směnách)



Obr. 7-25 Detail ouška jehly s povrchovou úpravou nitridu titanu ( po 5 pracovních směních + UV+100% vlhkost)

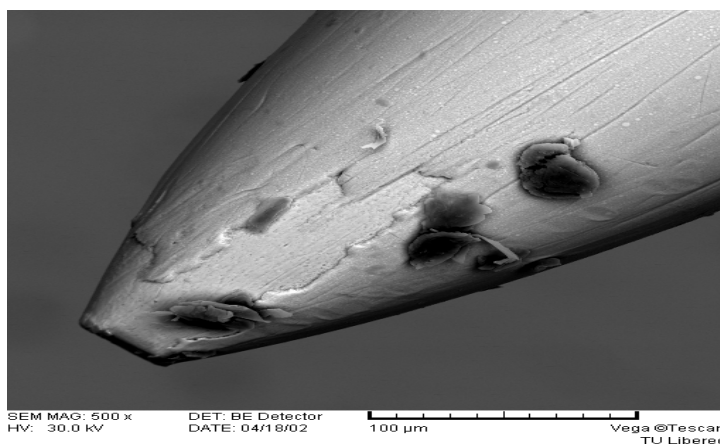


Obr. 7-26 Detail hrotu jehly s povrchovou úpravou nitridu titanu ( po 5 pracovních směních + UV+100% vlhkost)

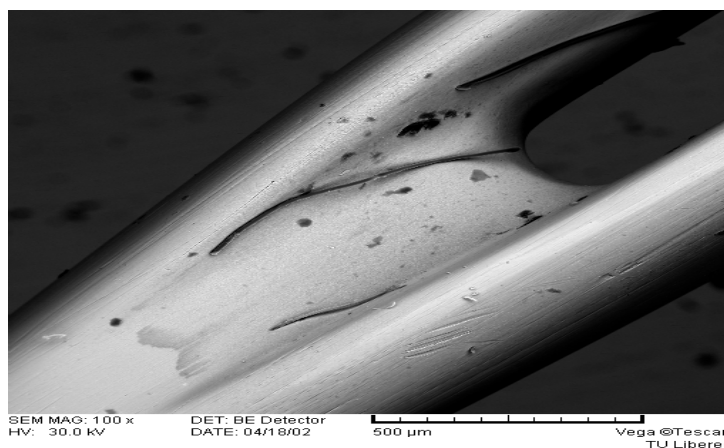


Obr. 7 – 27 Pohled na špičku s hrotem šicí jehly s povrchovou úpravou teflonu (po jedné pracovní směně)

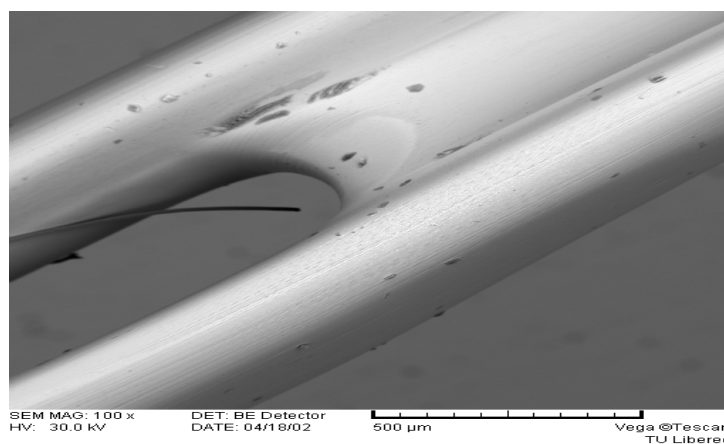




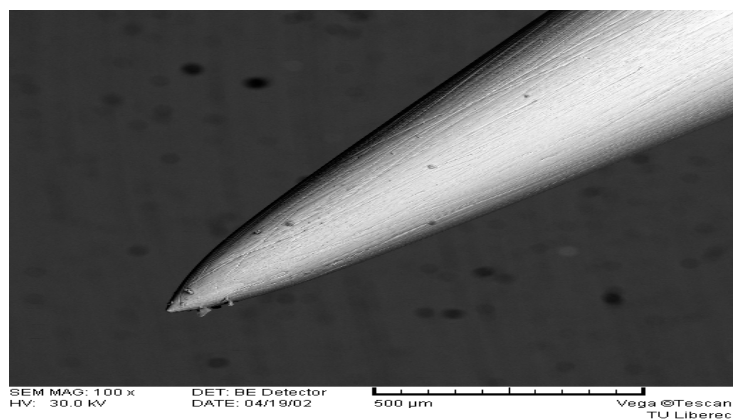
Obr. 7– 28 Pohled na detail hrotu šicí jehly s povrchovou úpravou teflonu (po jedné pracovní směně)



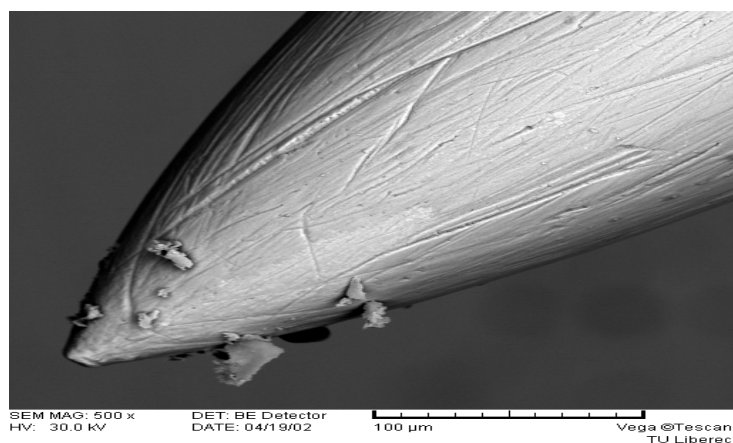
Obr. 7 – 29 Pohled na šicí jehlu v oblasti ouška s povrchovou úpravou teflonu (po jedné pracovní směně)



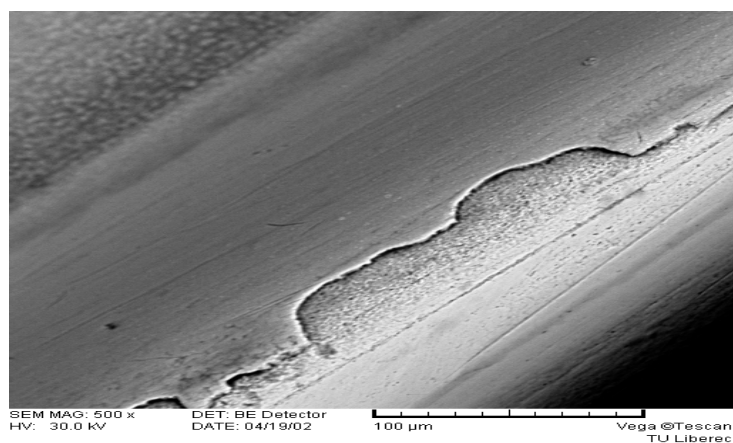
Obr. 7 – 30 Pohled na část stvolu a ouška šicí jehly s povrchovou úpravou teflonu (po jedné pracovní směně)



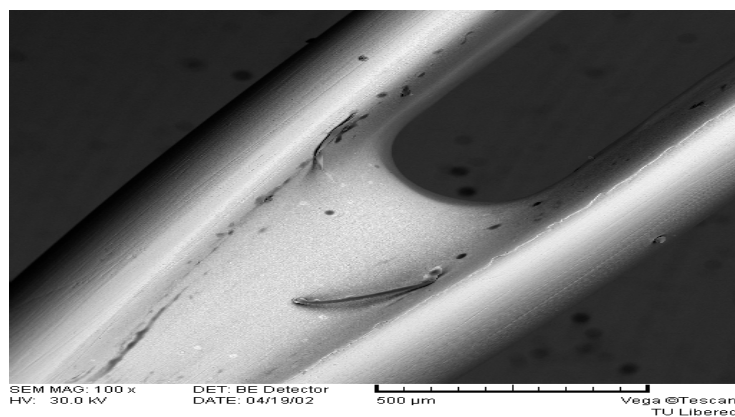
Obr. 7 – 31 Pohled na špičku s hrotem šicí jehly s povrchovou úpravou teflonu (po 5 pracovních směnách)



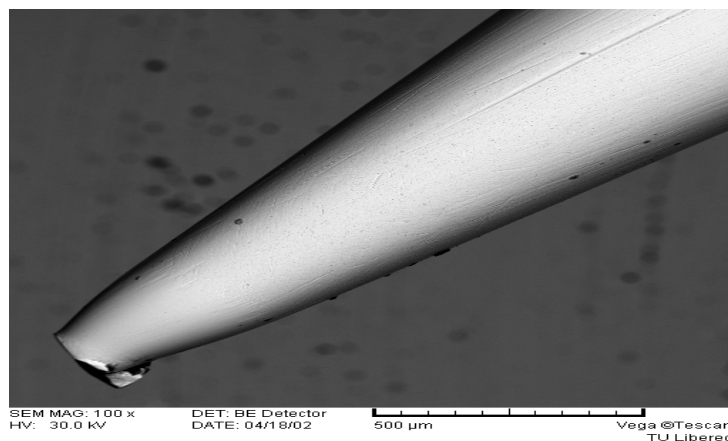
Obr. 7 – 32 Pohled na špičku s hrotem šicí jehly s povrchovou úpravou teflonu (po 5 pracovních směnách)



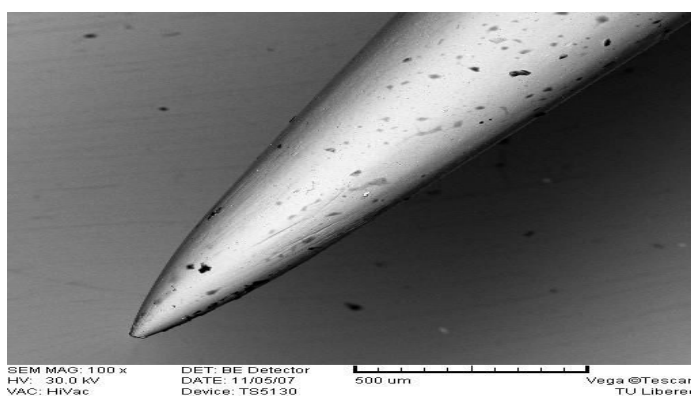
Obr. 7 – 33 Detail povrchové úpravy stvolu šicí jehly s povrchovou úpravou teflonu (po 5 pracovních směnách)



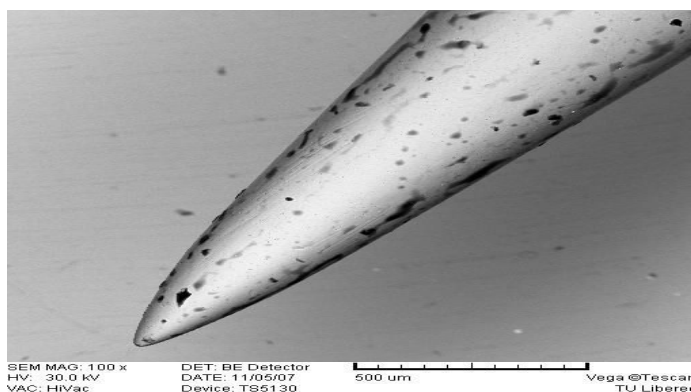
Obr. 7 – 34 Pohled na šicí jehlu v oblasti ouška s povrchovou úpravou teflonu (po 5 pracovních směnách)



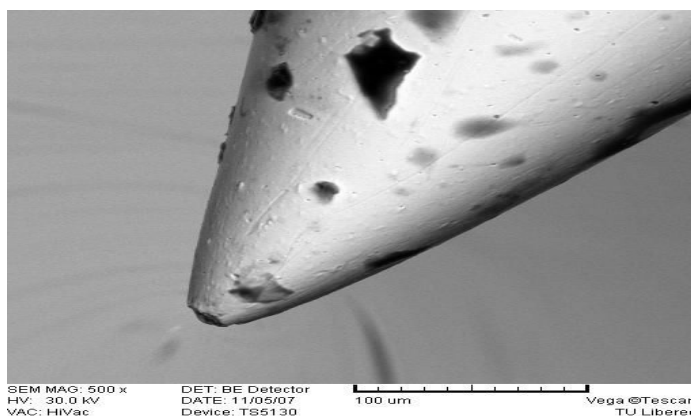
Obr. 7 – 35 Pohled na špičku s hrotem šicí jehly s povrchovou úpravou chrómu (po jedné pracovní směně)



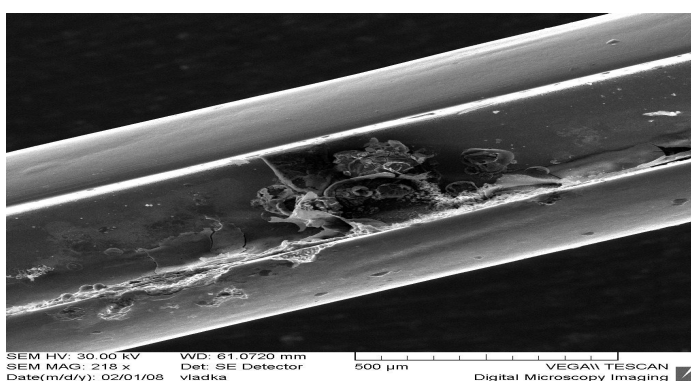
Obr. 7-36 Pohled na špičku s hrotem u jehly s keramickým povlakem (po jedné pracovní směně)



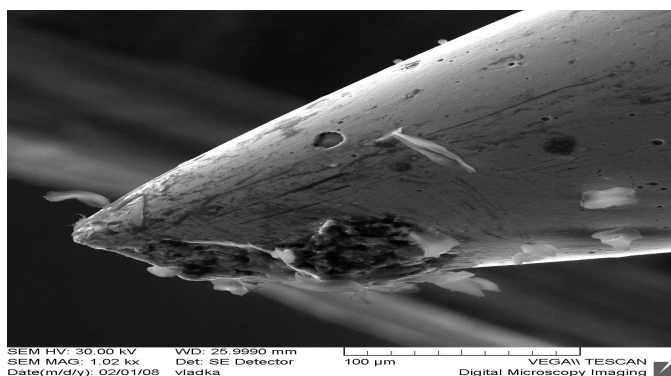
Obr. 7-37 Pohled na špičku s hrotem u jehly s keramickým povlakem (po 5 pracovních směnách)



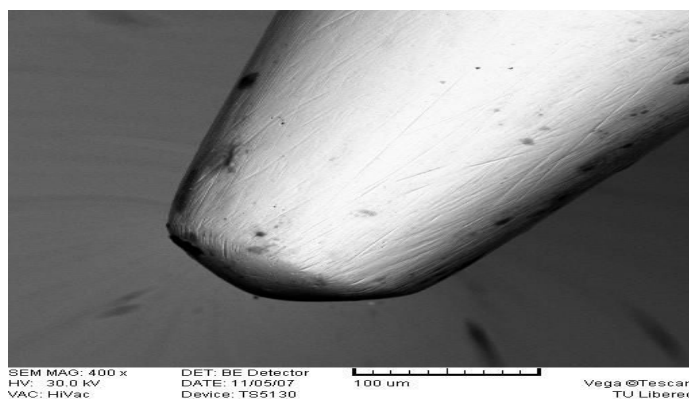
Obr. 7-38 Detail hrotu jehly s keramickým povlakem (po 5 pracovních směnách)



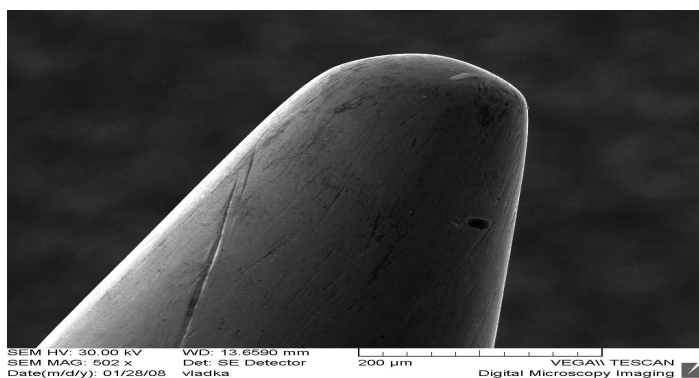
Obr. 7-39 Detail stvolu jehly s keramickým povlakem (po 5 pracovních směnách + UV+100% vlhkost)



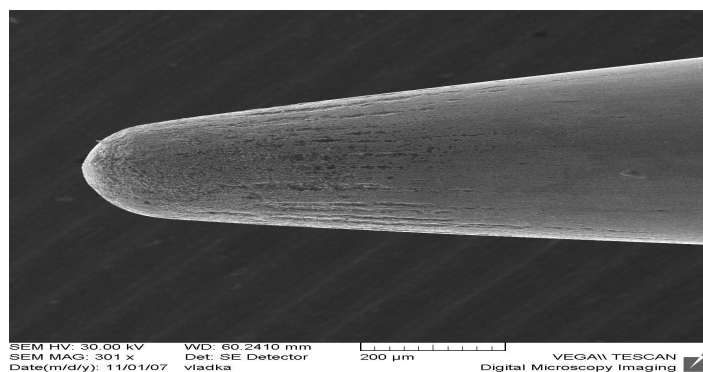
Obr. 7-40 Detail hrotu jehly s keramickým povlakem (po 5 pracovních směnách + UV+100% vlhkost)



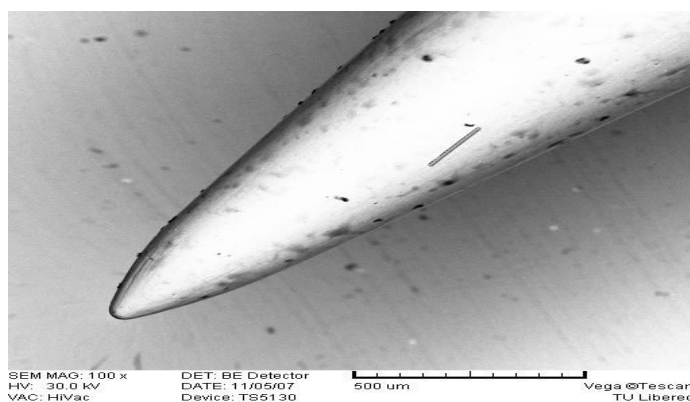
Obr. 7-41 Detail hrotu jehly s chromovým povlakem ( 0 směn )



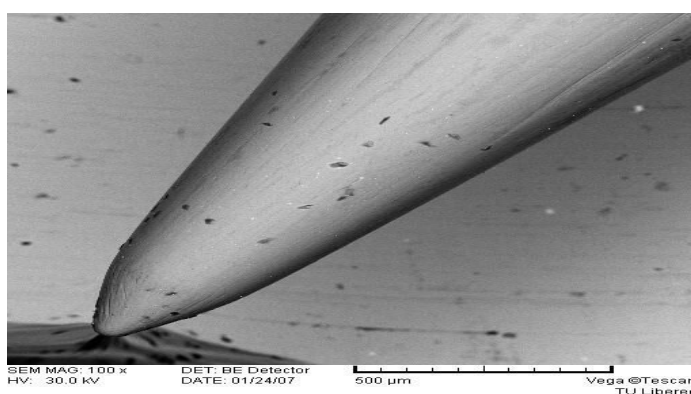
Obr. 7-42 Pohled na špičku s hrotem u jehly s chromovým povlakem (po jedné pracovní směně)



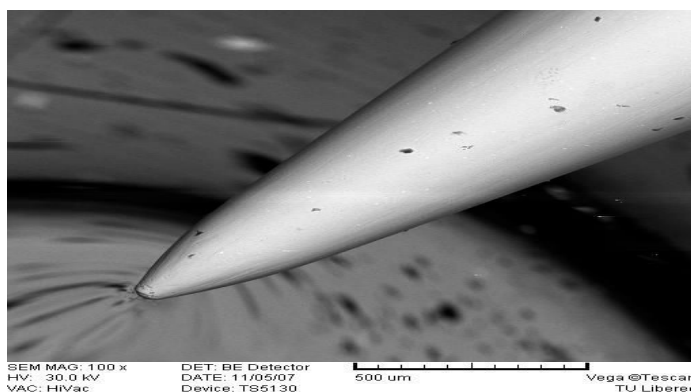
Obr. 7-43 Detail hrotu jehly s chromovým povlakem (po 5 pracovních směnách)



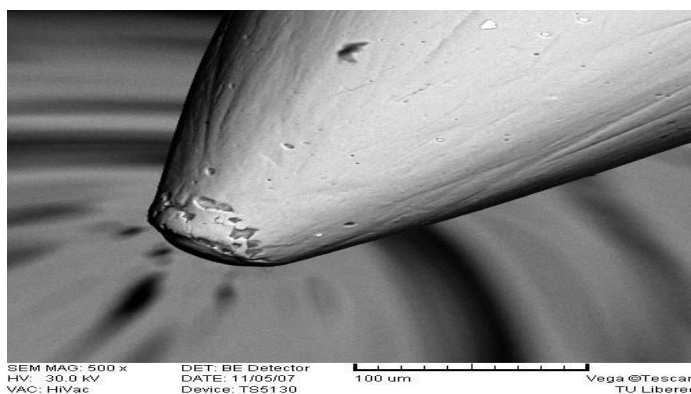
Obr. 7-44 Pohled na špičku s hrotem u jehly s TiN povlakem (0 směn )



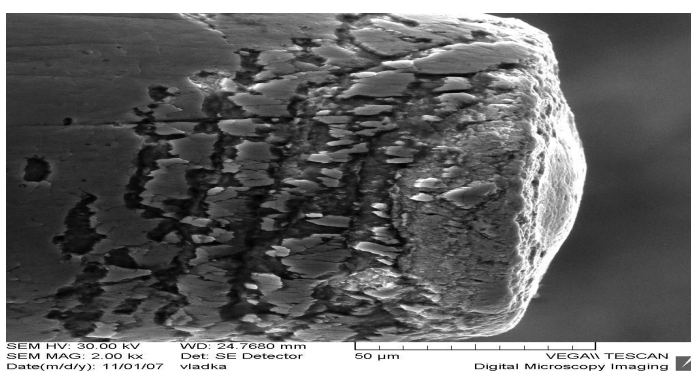
Obr. 7-45 Pohled na špičku s hrotem u jehly s TiN povlakem (po jedné pracovní směně)



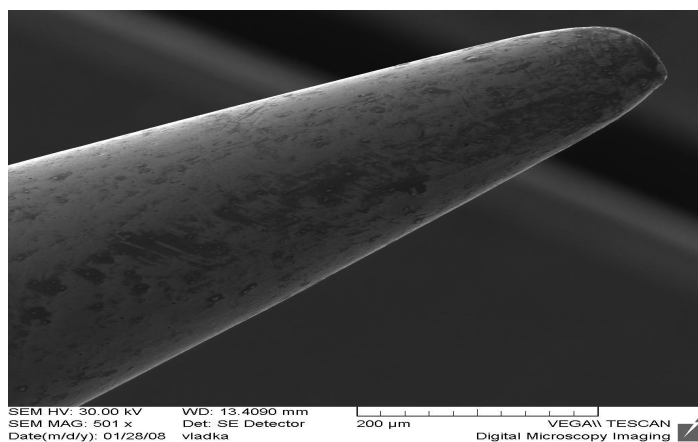
Obr. 7-46 Pohled na špičku s hrotem u jehly s TiN povlakem (po 5 pracovních směnách)



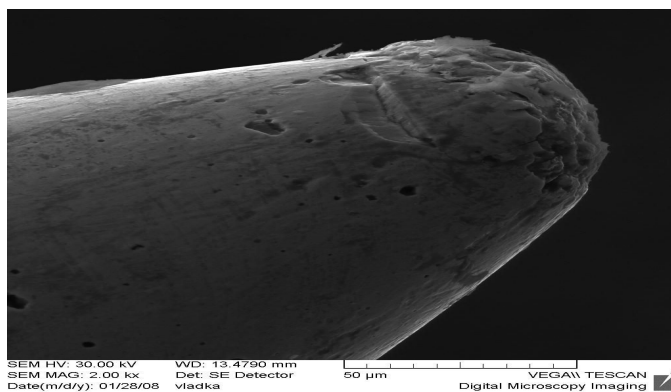
Obr. 7-47 Detail hrotu jehly s TiN povlakem (po 5 pracovních směnách)



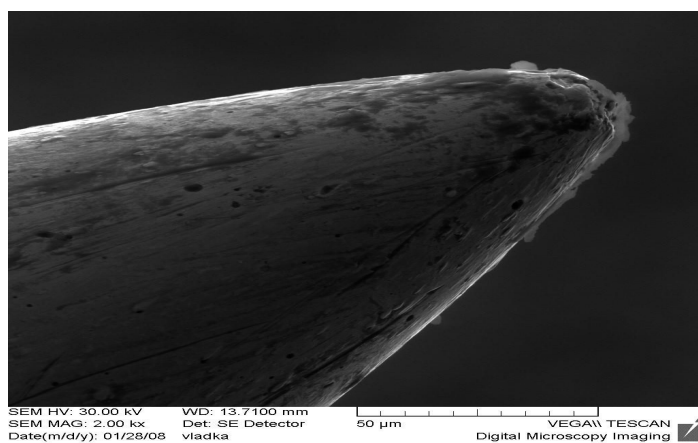
Pbr. 7-48 Detail hrotu jehly s TiN povlakem (po 5 pracovních směnách)



Obr. 7-49 Detail hrotu jehly s keramickým povlakem ( 0 směn )



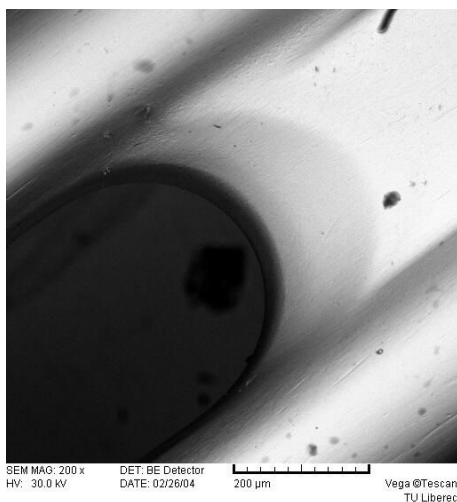
Obr. 7-50 Detail hrotu jehly s keramickým povlakem (po jedné pracovní směně )



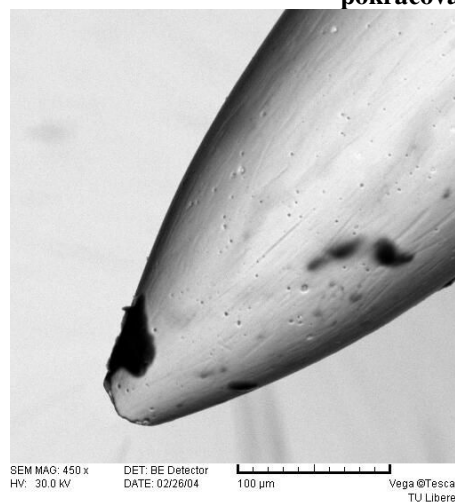
Obr. 7- 51 Detail hrotu jehly s keramickým povlakem (po 5 pracovních směnách)



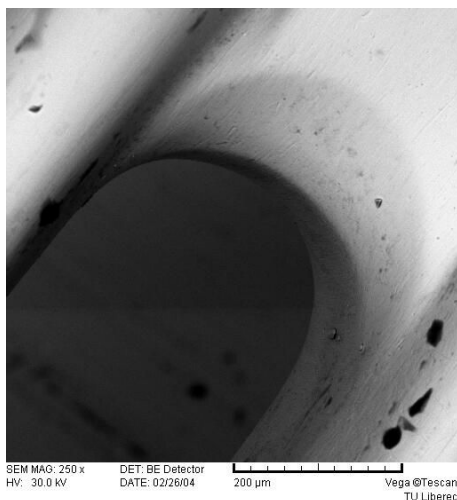
## Příloha č. 7 pokračování



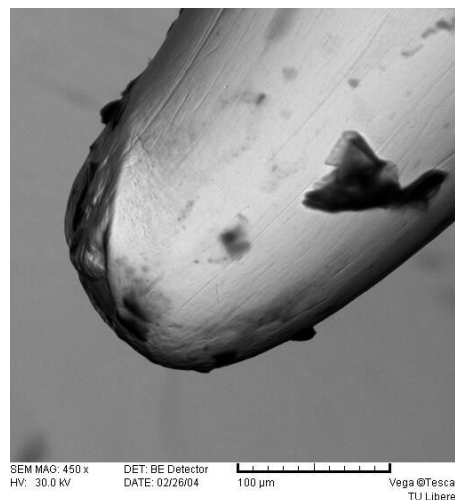
Obr. 7-55 Chrom – 1 směna, ouško



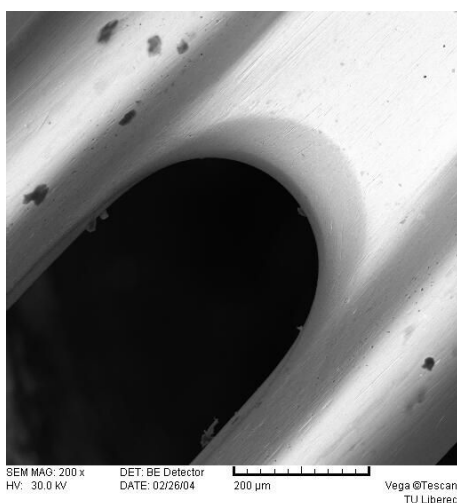
Obr. 7-56 Chrom – 1 směna, špička



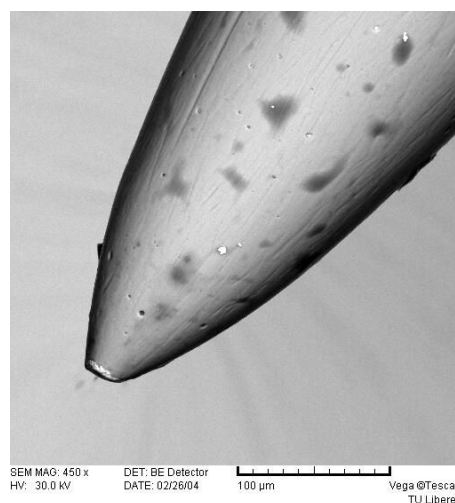
Obr. 7-57 Chrom – 5 směn, ouško



Obr. 7-58 Chrom – 5 směn, špička

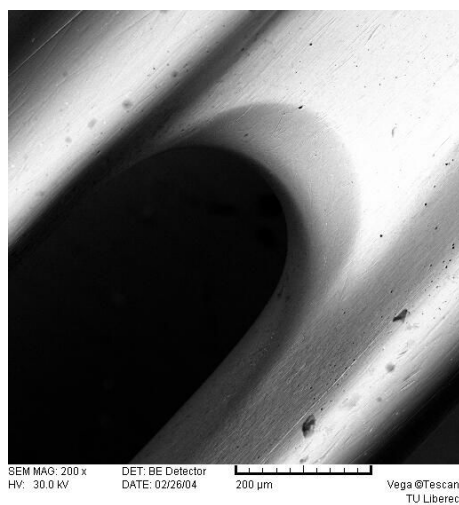


Obr. 7-59 TiN– 1 směna, ouško

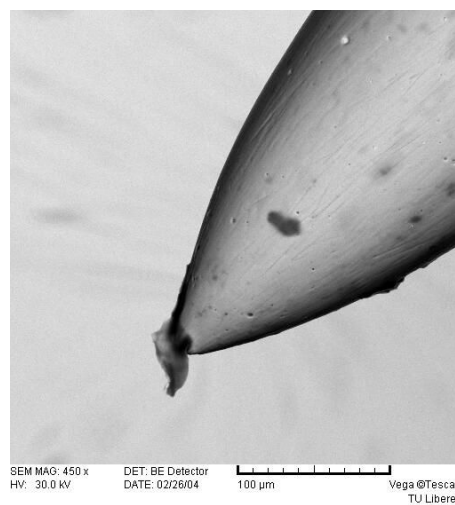


Obr. 7-60 TiN - 1 směna, špička

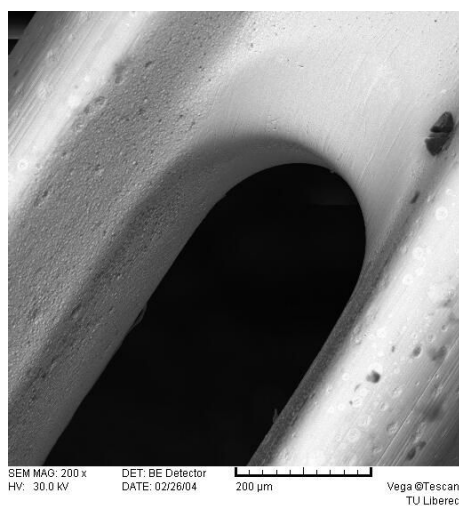
## Příloha č. 7 pokračování



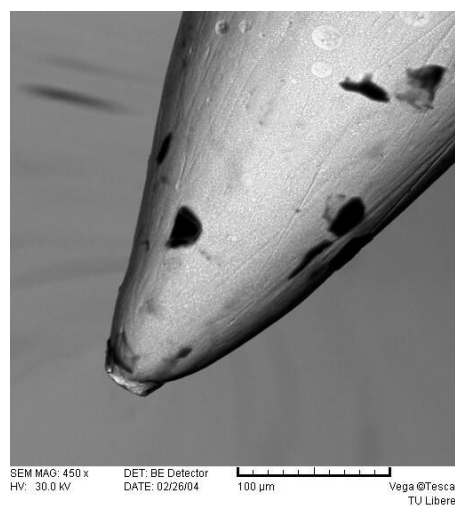
Obr. 7-61 TiN – 5 směn, ouško



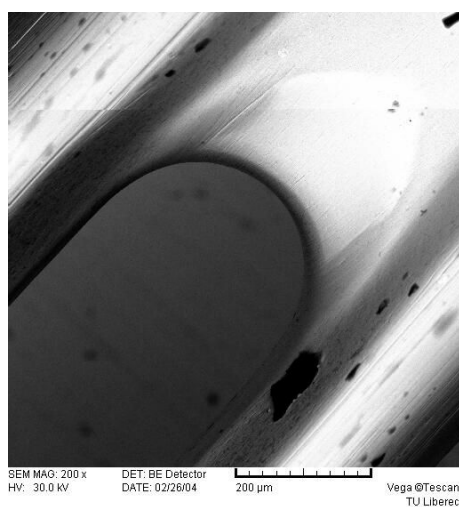
Obr. 7-62 TiN – 5 směn, špička



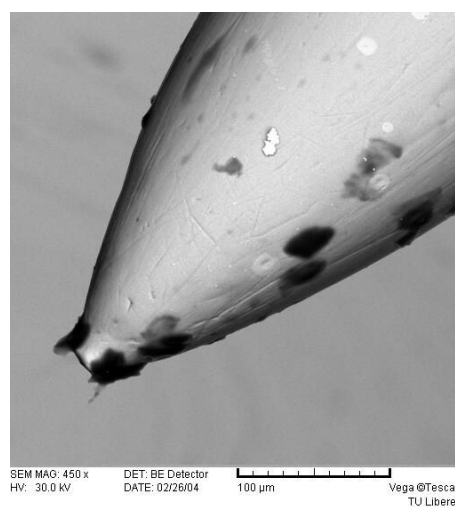
Obr. 7-63 Teflon – 1 směna, ouško



Obr. 7-64 Teflon – 1 směna, špička

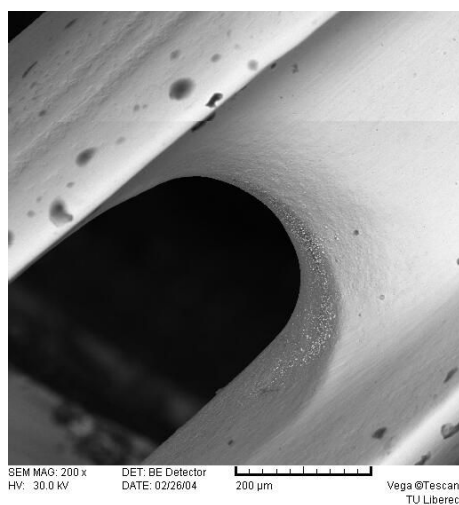


Obr. 7-65 Teflon – 5 směn, ouško

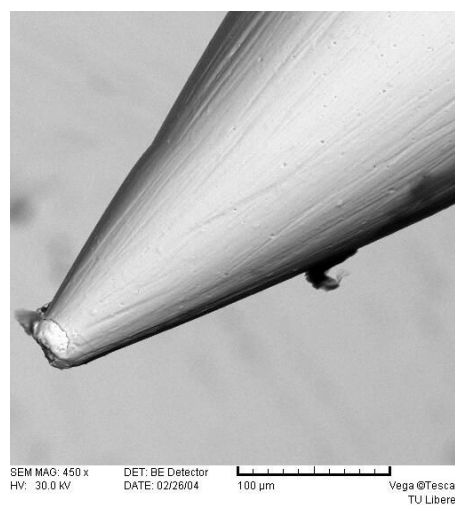


Obr. 7-66 Teflon – 5 směn, špička

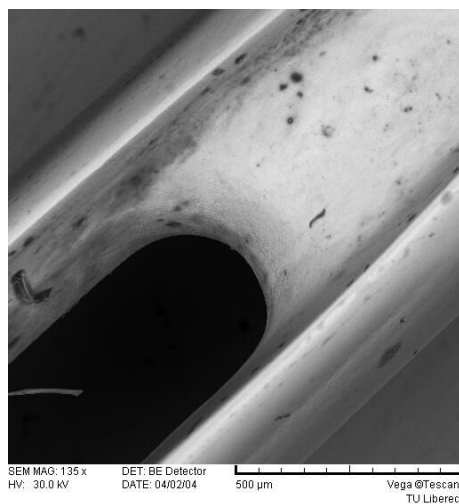
## Příloha č. 7 pokračování



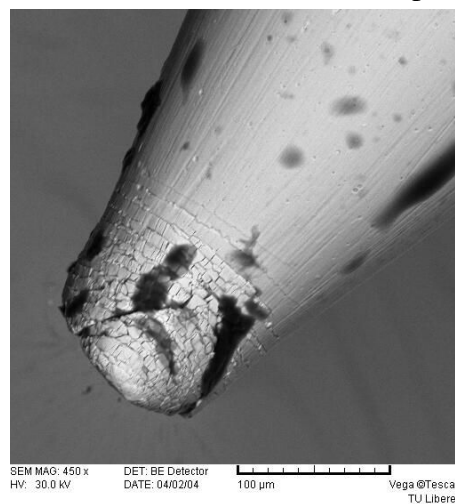
Obr. 7-67 Keramika – 1 směna, ouško



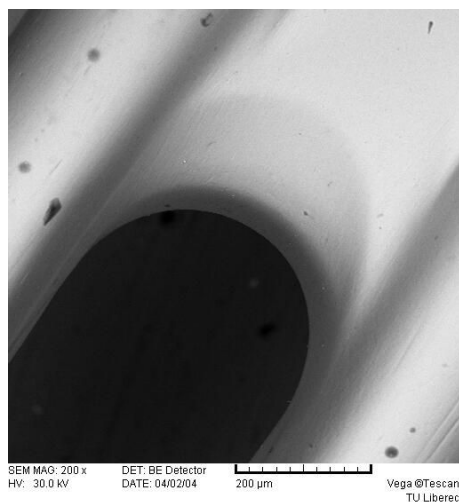
Obr. 7-68 Keramika – 1 směna, špička



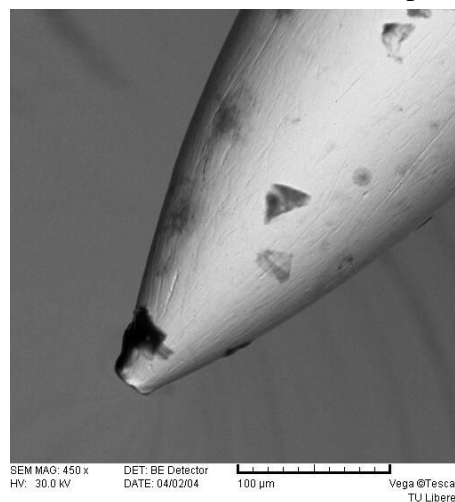
Obr. 7-69 Keramika – 5 směn, ouško



Obr. 7-70 Keramika – 5 směn, špička

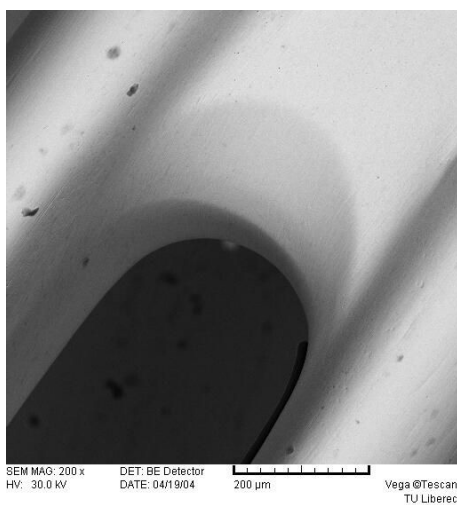


Obr. 7-71 Chrom – 1 směna, ouško

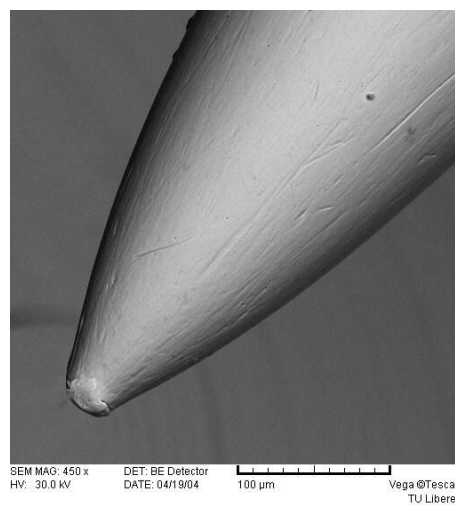


Obr. 7-72 Chrom – 1 směna, špička

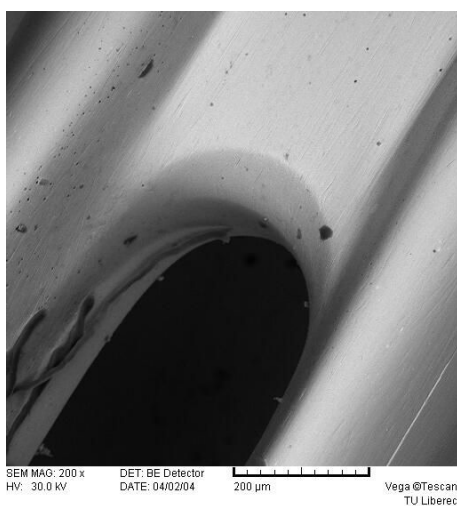
## Příloha č. 7 pokračování



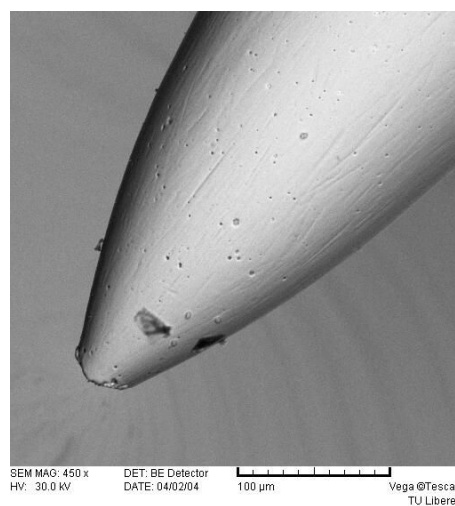
Obr. 7-73 Chrom – 5 směn, ouško



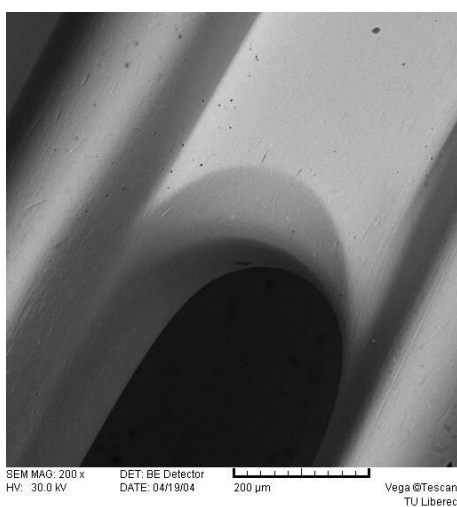
Obr. 7-74 Chrom – 5 směn, špička



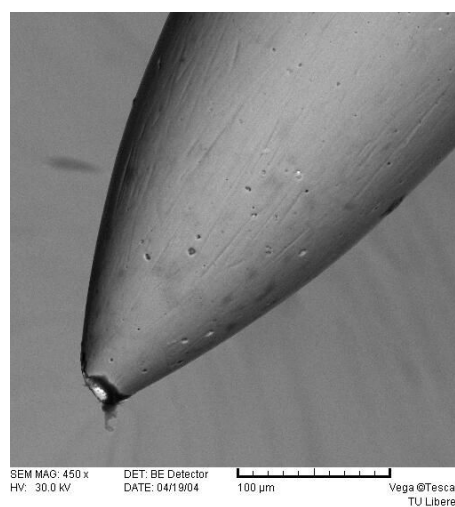
Obr. 7-75 TiN – 1 směna, ouško



Obr. 7-76 TiN – 1 směna, špička

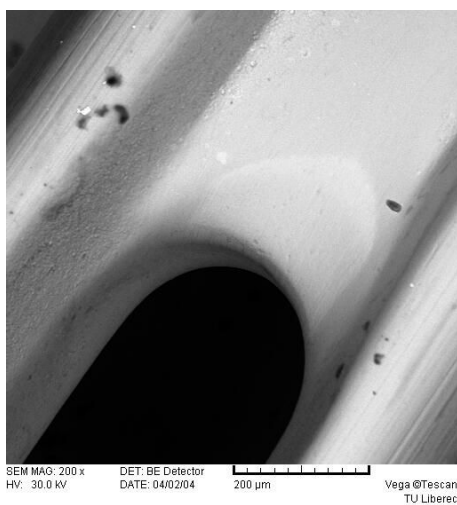


Obr. 7-77 TiN – 5 směn, ouško

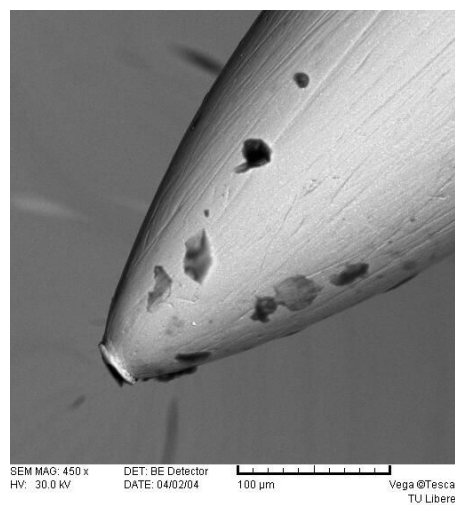


Obr. 7-78 TiN – 5 směn, špička

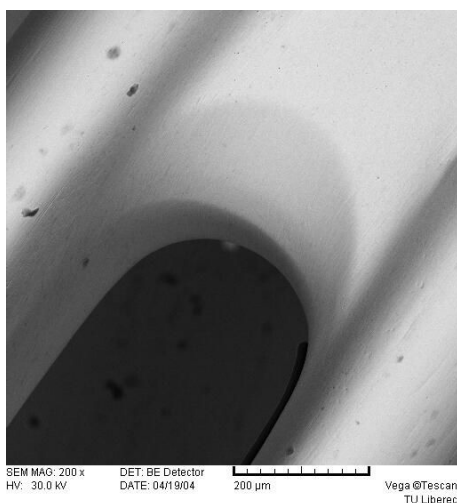
## Příloha č. 7 pokračování



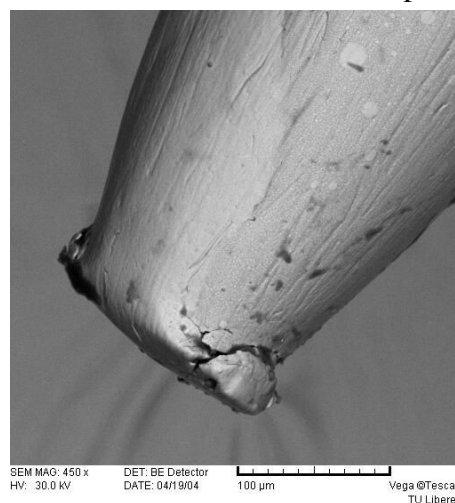
Obr. 7-79 Teflon – 1 směna, ouško



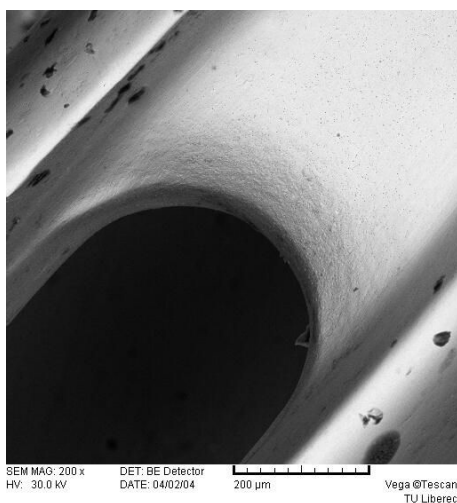
Obr. 7-80 Teflon – 1 směna, špička



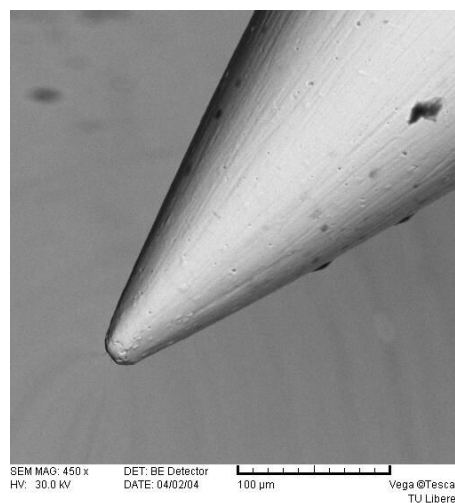
Obr. 7-81 Teflon – 5 směň, ouško



Obr. 7-82 Teflon - 5 směň, špička

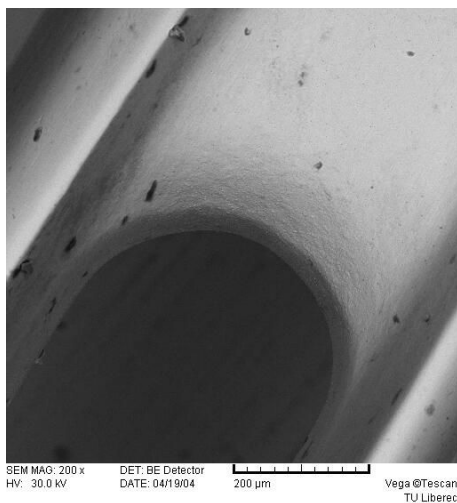


Obr. 7-83 Keramika – 1 směna, ouško  
špička

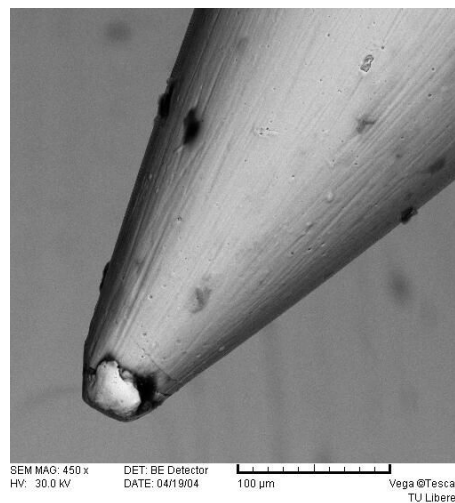


Obr. 7-84 Keramika – 1 směna,

**Příloha č. 7**  
**pokračování**

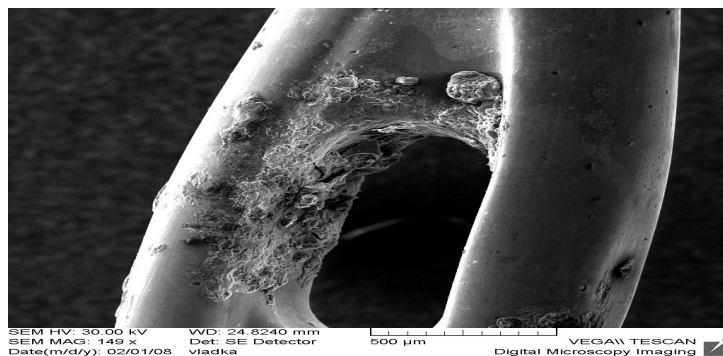


Obr. 7-85 Keramika – 5 směn, ouško

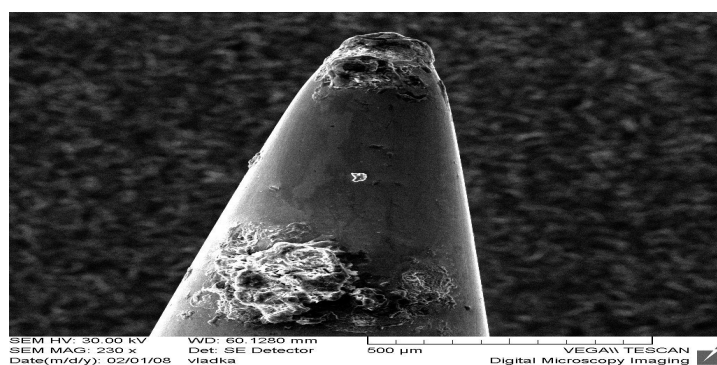


Obr. 7-86 Keramika – 5 směn, špička

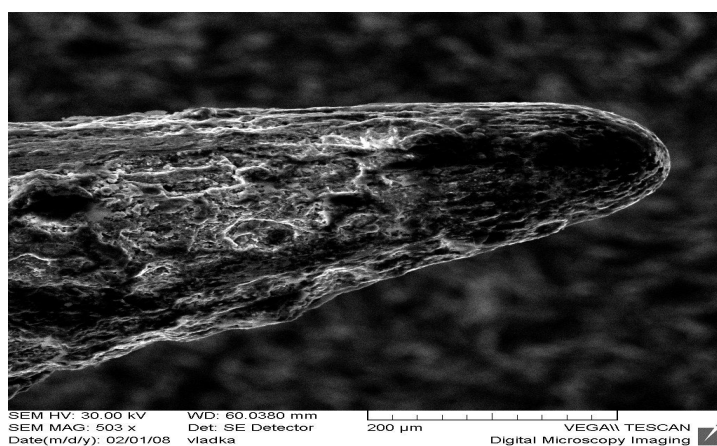
**Příloha č. 7**  
pokračování



Obr. 7-52 Detail ouška jehly s TiN povlakem ( 40 hod použití + UV+100% vlhkost)



Obr. 7-53 Detail hrotu jehly s TiN povlakem ( 40 hod použití +UV+100% vlhkost)



Obr. 7-54 Detail hrotu jehly s chromovým povlakem ( 40 hod použití +UV+100% vlhkost)

## Zákruty šicích nití

Tabulka 8-1 Naměřené průměrné hodnoty počtu zákrutů šicích nití - nepoužité nitě, použité nitě

Měření zákrutů $\left[ \frac{n}{m} \right]$	Šicí nit nepoužitá TRIANA	Šicí nit nepoužitá BELFIL S	Šicí nit nepoužitá SABA <sup>C</sup>	Šicí nit použitá TRIANA	Šicí nit použitá BELFIL S	Šicí nit použitá SABA <sup>C</sup>
1	724	976	1088	792	1016	1044
2	776	964	1076	880	1008	1032
3	704	984	1008	840	990	1048
4	768	984	968	832	976	1076
5	760	952	976	808	968	1080
6	768	980	1044	836	992	1042
7	768	980	1040	860	988	1080
8	712	996	1040	804	1032	1076
9	716	976	1044	808	1020	1032
10	732	972	996	822	1000	1024
$\bar{x}$	<b>743</b>	<b>976</b>	<b>1028</b>	<b>828</b>	<b>999</b>	<b>1059</b>
$s^2$	771,73	143,82	1603,56	739,96	404,67	496,04
$s$	27,78	11,99	40,04	27,20	20,12	22,27
$v$	0,037	0,012	0,039	0,033	0,02	0,021

Tabulka 8-2 Naměřené průměrné hodnoty počtu zákrutů šicích nití - nepoužité nitě

Počet zákrutů	Šicí nit Triana	Šicí nit Belfil S	Šicí nit Saba <sup>C</sup>
$\bar{x} \left[ \frac{n}{m} \right]$	<b>743</b>	<b>976</b>	<b>1028</b>
$s^2$	771,73	143,82	1603,56
$s$	27,78	11,99	40,04
$v$	0,04	0,01	0,04

Tabulka 8-3 Naměřené průměrné hodnoty počtu zákrutů šicích nití - použité nitě

Počet zákrutů	Šicí nit Triana	Šicí nit Belfil S	Šicí nit Saba <sup>C</sup>
$\bar{x} \left[ \frac{n}{m} \right]$	<b>828</b>	<b>999</b>	<b>1059</b>
$s^2$	739,96	404,67	496,04
$s$	27,20	20,12	22,27
$v$	0,03	0,02	0,02



## Šicí schopnost šicích nití

### Nit Triana

Tab. 8-1 Jehla s chromovým povlakem

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	01:01	03:00	03:00
2.	03:00	03:00	03:00
3.	03:00	03:00	03:00
4.	02:01	03:00	03:00
5.	00:16	00:33	03:00
<b>Σ T</b>	09:18	12:33	15:00
<b>T</b>	01:52	02:31	03:00

Tab. 8-3 Jehla s nitrid titanovým povlakem

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	03:00	03:00	02:39
2.	03:00	03:00	03:00
3.	03:00	03:00	03:00
4.	03:00	02:12	03:00
5.	03:00	03:00	03:00
<b>Σ T</b>	15:00	14:12	14:39
<b>T</b>	03:00	02:50	02:56

### Nit Belfil S

Tab. 8-5 Jehla s chromovým povlakem

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	01:06	03:00	03:00
2.	02:32	03:00	03:00
3.	00:17	03:00	03:00
4.	00:34	03:00	03:00
5.	03:00	03:00	03:00
<b>Σ T</b>	07:29	15:00	15:00
<b>T</b>	01:30	03:00	03:00

Tab. 8-2 Jehla s teflonovým povlakem

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	03:00	03:00	01:15
2.	03:00	03:00	03:00
3.	03:00	03:00	03:00
4.	02:25	03:00	03:00
5.	03:00	03:00	03:00
<b>Σ T</b>	14:25	15:00	13:15
<b>T</b>	02:53	03:00	02:39

Tab. 8-4 Jehla s keramickým povlakem

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	00:06	01:01	00:17
2.	00:58	00:46	00:13
3.	00:21	00:02	00:25
4.	00:09	00:57	00:24
5.	00:04	00:43	00:16
<b>Σ T</b>	01:38	03:29	01:35
<b>T</b>	00:20	00:42	00:19

Tab. 8-6 Jehla s teflonovým povlakem

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	03:00	03:00	03:00
2.	03:00	02:52	03:00
3.	03:00	03:00	02:41
4.	03:00	03:00	03:00
5.	03:00	03:00	01:56
<b>Σ T</b>	15:00	14:52	13:37
<b>T</b>	03:00	02:58	02:43

## Příloha č. 9

pokračování

**Tab. 8-7 Jehla s nitrid titanovým povlakem**

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	03:00	00:48	01:00
2.	03:00	01:08	02:11
3.	03:00	01:29	01:49
4.	03:00	03:00	03:00
5.	03:00	00:10	03:00
<b>Σ T</b>	15:00	06:35	11:00
<b>T</b>	03:00	01:19	02:12

**Tab. 8-8 Jehla s keramickým povlakem**

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	02:29	02:10	02:22
2.	02:33	01:19	02:52
3.	02:52	02:25	02:41
4.	03:00	01:34	01:52
5.	02:33	01:43	02:45
<b>Σ T</b>	12:47	9:11	12:32
<b>T</b>	02:33	01:50	02:30

### Nit Saba<sup>C</sup>

**Tab. 8-9 Jehla s chromovým povlakem    Tab. 8-10 Jehla s teflonovým povlakem**

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	01:12	03:00	03:00
2.	02:20	03:00	03:00
3.	02:45	03:00	03:00
4.	01:20	03:00	03:00
5.	01:52	03:00	03:00
<b>Σ T</b>	09:29	15:00	15:00
<b>T</b>	01:54	03:00	03:00

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	03:00	01:19	01:15
2.	02:50	03:00	03:00
3.	03:00	03:00	03:00
4.	02:25	02:40	03:00
5.	03:00	03:00	03:00
<b>Σ T</b>	14:15	12:59	13:15
<b>T</b>	02:51	02:36	02:39

**Tab. 8-11 Jehla s nitrid titanovým povlakem**

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	03:00	00:10	03:00
2.	03:00	00:34	03:00
3.	03:00	03:00	03:00
4.	03:00	03:00	02:09
5.	03:00	03:00	03:00
<b>Σ T</b>	15:00	09:44	14:09
<b>T</b>	03:00	01:57	02:50

**Tab. 8-12 Jehla s keramickým povlakem**

Opotřebení [směny]	0	1	5
1.	01:12	03:00	02:45
2.	03:00	01:12	01:20
3.	03:00	02:20	02:29
4.	01:32	02:33	03:00
5.	03:00	02:39	02:41
<b>Σ T</b>	11:44	11:44	12:15
<b>T</b>	02:20	02:20	02:27

**Pevnost ve smyčce šicích nití**  
**Šicí nit Triana**

**Tabulka 10-13 Jehla s chromovým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	15,6684	13,5388	14,0425
2.	15,1160	14,8624	13,8966
3.	13,5874	12,9760	14,7547
4.	14,3413	15,2550	14,1954
5.	13,7055	13,3998	14,8312
$\bar{F}$ [N]	<b>14,48</b>	<b>14,01</b>	<b>14,34</b>
$s^2$	0,81	0,99	0,18
$s$	0,90	0,99	0,42
$v$	0,06	0,07	0,03

**Tabulka 10-14 Jehla s teflonovým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	14,7408	12,4722	11,9476
2.	13,0698	12,427	13,5249
3.	14,9111	14,9666	13,0663
4.	15,1925	13,3268	14,9771
5.	15,8491	11,0443	13,1531
$\bar{F}$ [N]	<b>14,75</b>	<b>12,84</b>	<b>13,33</b>
$s^2$	1,06	2,07	1,19
$s$	1,03	1,43	1,09
$v$	0,06	0,11	0,08

**Tabulka 10-15 Jehla s nitrid titanovým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	15,6545	12,6146	12,3506
2.	15,8526	10,2974	13,8653
3.	14,1745	11,7461	12,6042
4.	13,6152	13,7333	15,7101
5.	14,8277	13,7125	16,7176
$\bar{F}$ [N]	<b>14,82</b>	<b>12,42</b>	<b>14,24</b>
$s^2$	0,91	2,10	3,67
$s$	0,95	1,44	1,92
$v$	0,06	0,12	0,13

**Tabulka 10-16 Jehla s keramickým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	12,00	11,7739	14,3413
2.	14,317	12,7397	12,6077
3.	7,9245	14,2406	15,2411
4.	14,0078	13,1636	15,3592
5.	13,5839	13,8132	12,3888
$\bar{F}$ [N]	<b>12,40</b>	<b>13,14</b>	<b>13,99</b>
$s^2$	6,93	0,92	2,01
$s$	2,63	0,96	1,42
$v$	0,21	0,07	0,10

### Šicí nit Belfil S

**Tabulka 10-17 Jehla s chromovým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	7,43469	9,86659	12,2603
2.	12,1665	14,5949	14,0252
3.	9,97082	13,1045	17,8467
4.	9,67204	15,658	13,4762
5.	10,2626	14,7304	15,1543
$\bar{F}$ [N]	<b>9,90</b>	<b>13,59</b>	<b>14,55</b>
$s^2$	2,85	5,17	4,48
$s$	1,68	2,27	2,12
$v$	0,16	0,17	0,15

**Tabulka 10-18 Jehla s teflonovým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	15,6476	14,1224	14,8972
2.	13,9765	15,9672	14,9875
3.	15,5329	14,8034	14,0668
4.	13,6256	12,2985	16,6238
5.	15,1716	14,2683	15,4287
$\bar{F}$ [N]	<b>14,79</b>	<b>14,29</b>	<b>15,20</b>
$s^2$	0,86	1,77	0,87
$s$	0,93	1,33	0,94
$v$	0,06	0,09	0,06

**Tabulka 10-19 Jehla s nitrid titanovým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	15,2585	10,7977	13,8792
2.	9,70678	15,5295	13,9904
3.	13,1358	10,822	12,0101
4.	16,068	10,485	12,9099
5.	12,8196	13,9765	12,0518
$\bar{F}$ [N]	<b>13,40</b>	<b>12,32</b>	<b>12,97</b>
$s^2$	6,15	5,24	0,91
$s$	2,48	2,29	0,95
v	0,19	0,18	0,07

**Tabulka 10-20 Jehla s keramickým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	15,3314	13,8271	13,3234
2.	16,0992	12,4514	13,2574
3.	14,4212	14,786	13,9869
4.	13,3581	14,3135	15,4843
5.	13,9487	12,9343	13,7437
$\bar{F}$ [N]	<b>14,63</b>	<b>13,66</b>	<b>13,96</b>
$s^2$	1,19	0,93	0,82
$s$	1,09	0,96	0,90
v	0,07	0,07	0,06

**Šicí nit Saba<sup>C</sup>**

**Tabulka 10-21 Jehla s chromovým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	17,0915	18,6327	17,3843
2.	16,2261	17,8724	18,9301
3.	16,7899	18,7212	18,6238
4.	17,9413	16,9357	17,2985
5.	18,1866	16,1261	16,8196
$\bar{F}$ [N]	<b>17,25</b>	<b>17,66</b>	<b>17,81</b>
$s^2$	0,66	1,25	0,84
$s$	0,81	1,12	0,91
v	0,05	0,06	0,05

**Tabulka 10-22 Jehla s teflonovým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	14,1224	13,1358	14,8972
2.	15,9672	16,2347	14,9875
3.	14,8034	13,4832	11,4473
4.	12,2985	13,5179	14,0668
5.	14,365	11,8503	16,6238
$\bar{F}$ [N]	<b>14,31</b>	<b>13,64</b>	<b>14,40</b>
$s^2$	1,77	2,56	3,59
$s$	1,33	1,60	1,90
v	0,09	0,12	0,13

**Tabulka 10-23 Jehla s nitrid titanovým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	18,0231	16,7792	17,2561
2.	18,1357	16,3571	16,9099
3.	17,4509	17,2540	16,8220
4.	16,7422	15,2231	17,1358
5.	17,1780	16,1127	17,2685
$\bar{F}$ [N]	<b>17,51</b>	<b>16,35</b>	<b>17,07</b>
$s^2$	0,34	0,58	0,04
$s$	0,58	0,76	0,20
v	0,03	0,05	0,01

**Tabulka 10-24 Jehla s keramickým povlakem**

Opotřebení [směny] / pevnost ve smyčce F [N]	0	1	5
1.	15,7360	13,5726	15,2125
2.	16,0136	14,0114	13,3258
3.	14,2311	13,2116	15,3741
4.	15,5701	13,2305	14,0115
5.	13,2213	14,0184	13,3314
$\bar{F}$ [N]	<b>14,95</b>	<b>13,61</b>	<b>14,25</b>
$s^2$	1,41	0,16	0,99
$s$	1,19	0,40	0,99
v	0,08	0,03	0,07

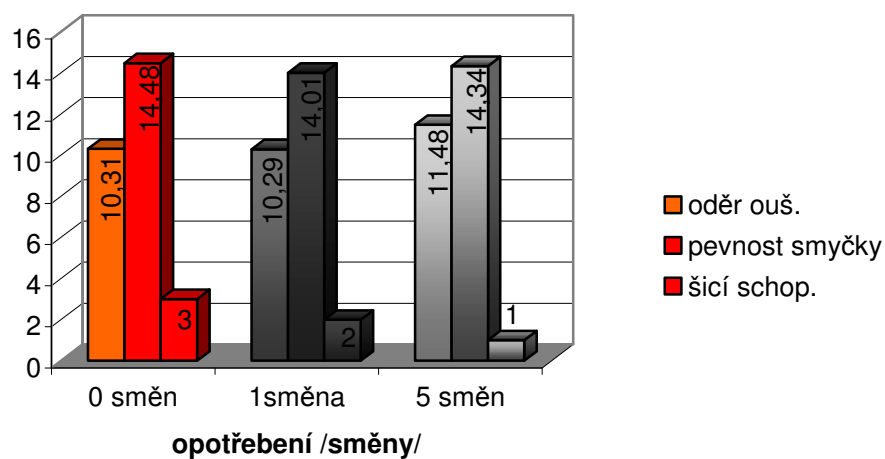
**Tabulka10-25 Nepoužité nitě**

Šicí nit / pevnost ve smyčce F [N]	Triana	Belfil S	Saba
1.	15,20	15,10	15,10
2.	13,90	16,00	15,35
3.	14,80	15,35	15,60
4.	15,40	15,70	16,10
5.	15,90	16,10	14,90
$\bar{F}$ [N]	<b>15,04</b>	<b>15,65</b>	<b>15,41</b>
$s^2$	0,56	0,18	0,22
$s$	0,75	0,42	0,47
v	0,05	0,03	0,03

**Tabulka10-14 Pevnost nitě ve smyčce, která by měla být po zašití do materiálu**

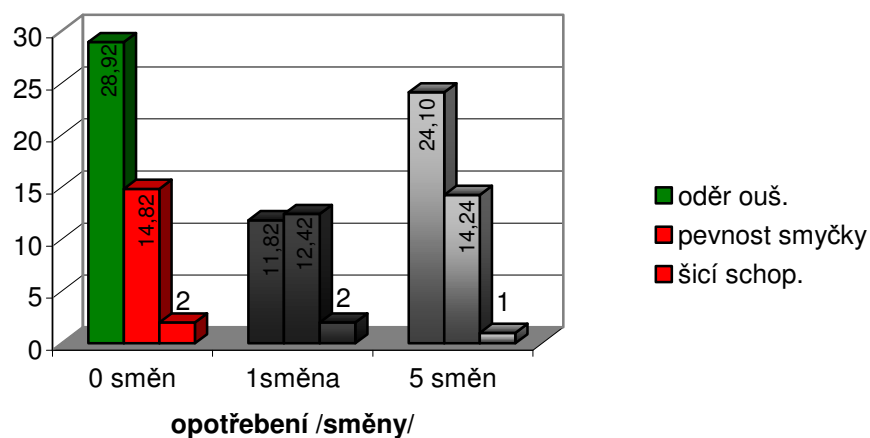
Šicí nit / pevnost ve smyčce F [N]	Triana	Belfil S	Saba
1.	15,60	16,00	15,45
2.	16,20	16,40	16,20
3.	15,40	16,20	15,40
4.	15,20	15,60	16,60
5.	16,40	16,20	16,10
$\bar{F}$ [N]	<b>15,76</b>	<b>16,08</b>	<b>15,95</b>
$s^2$	0,27	0,09	0,27
$s$	0,52	0,30	0,51
v	0,03	0,02	0,03

### Chrom - Triana



Graf. 11-1 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Triana na opotřebení chromového povlaku strojní šicí jehly

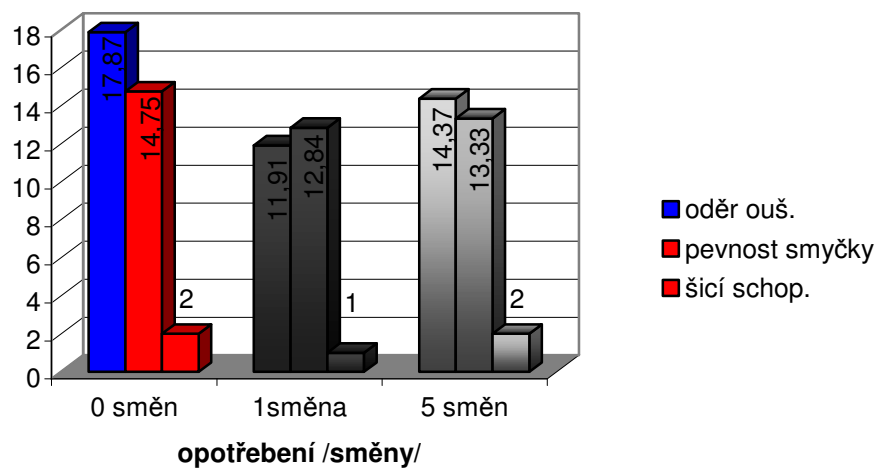
### TiN - Triana



Graf. 11-2 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Triana na opotřebení TiN povlaku strojní šicí jehly

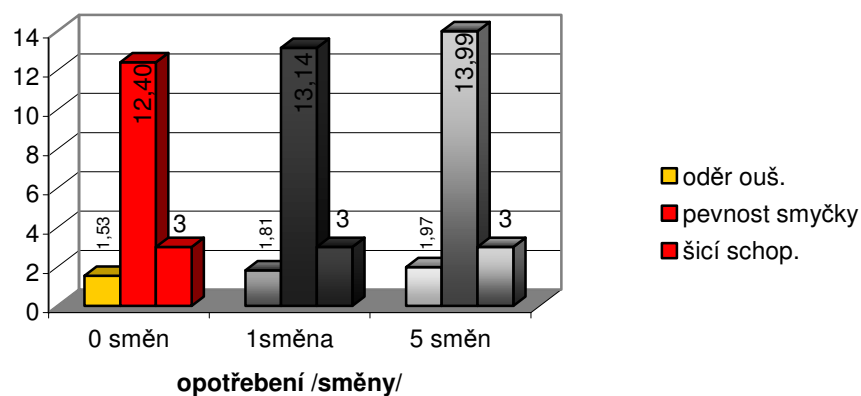


### Teflon - Triana

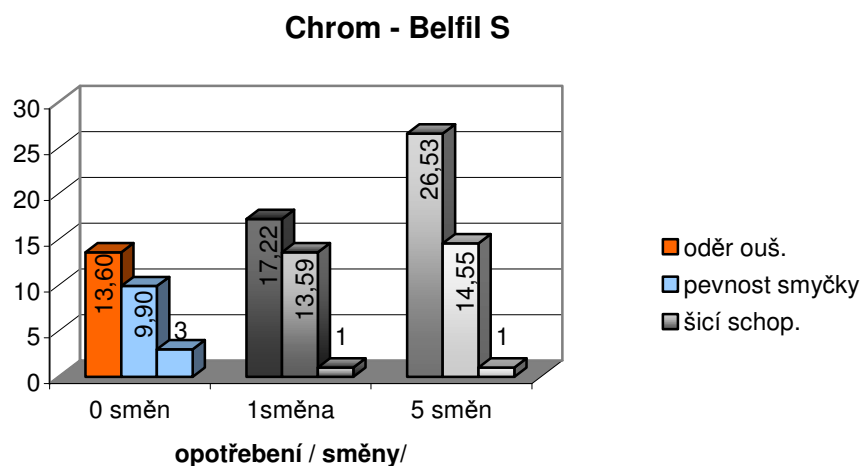


Graf. 11-3 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Triana na opotřebení teflonového povlaku strojní šicí jehly

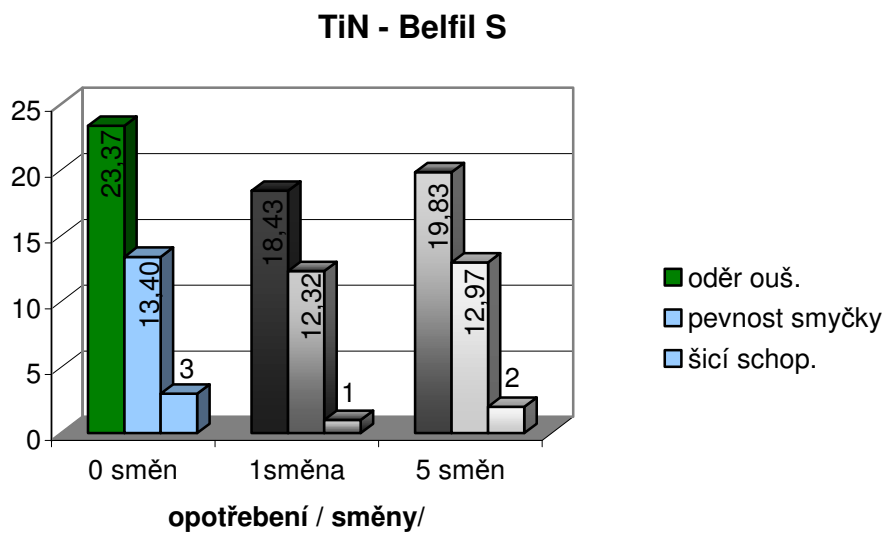
### Keramika -Triana



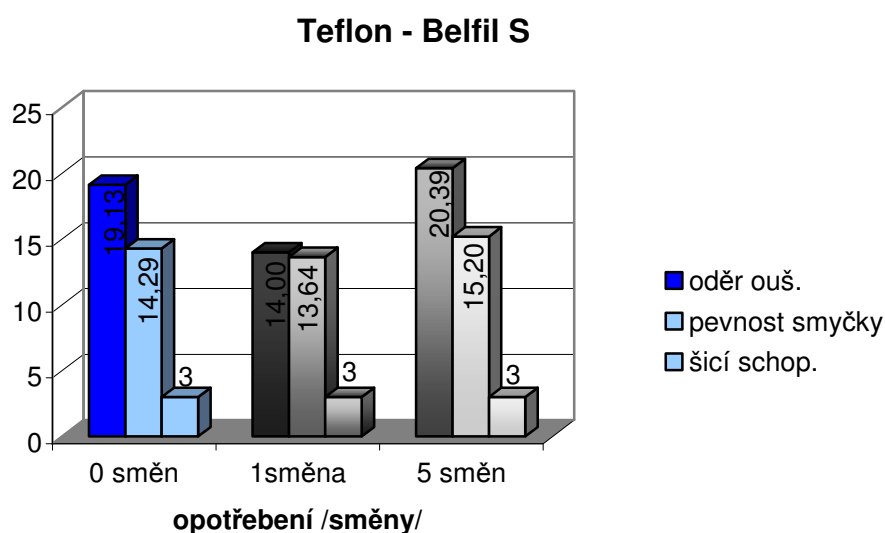
Graf. 11-4 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Triana na opotřebení keramického povlaku strojní šicí jehly



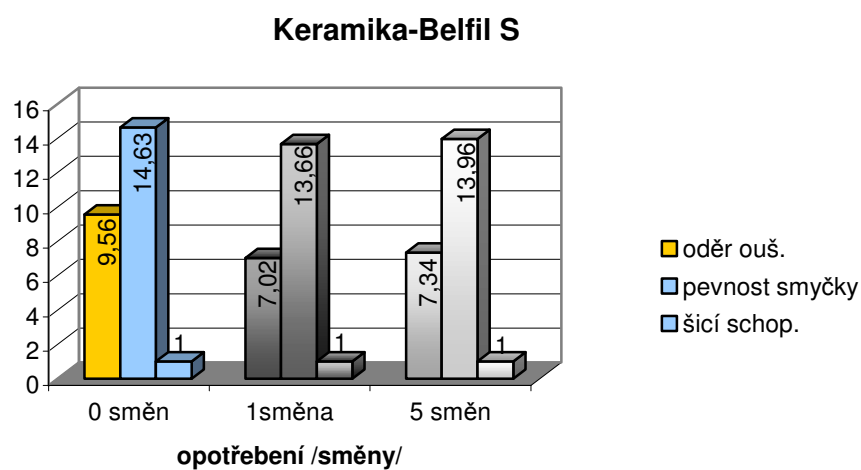
Graf. 11-5 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Belfil S na opotřebení chromového povlaku strojní šicí jehly



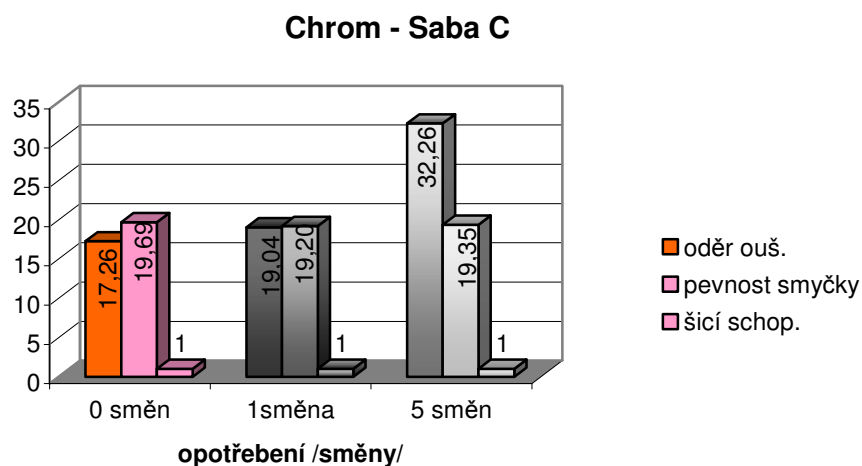
Graf. 11-6 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Belfil S na opotřebení TiN povlaku strojní šicí jehly



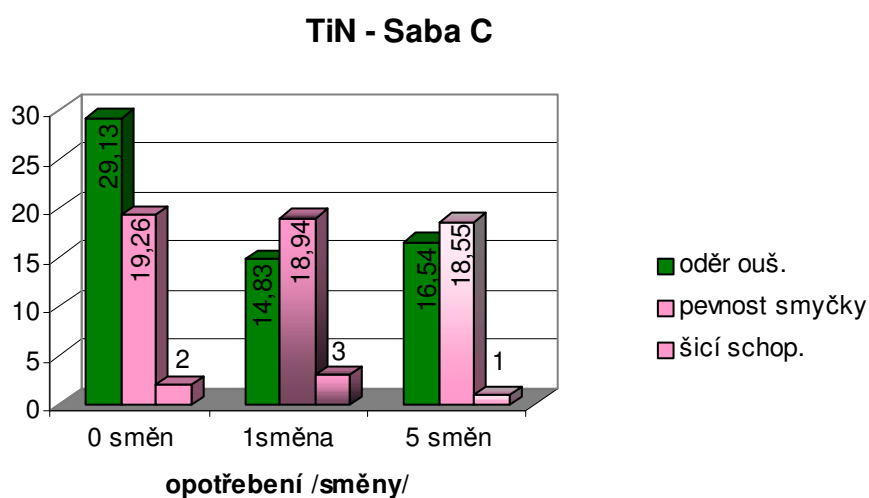
Graf. 11-7 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Belfil S na opotřebení teflonového povlaku strojní šicí jehly



Graf. 11-8 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Belfil S na opotřebení keramického povlaku strojní šicí jehly

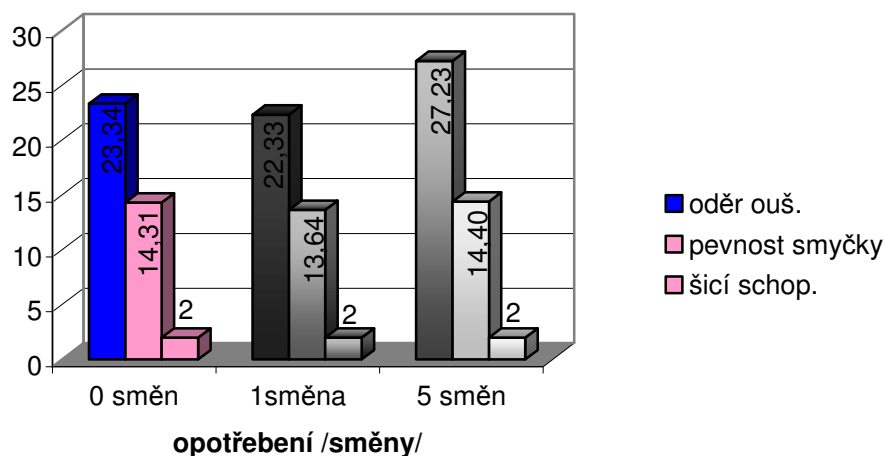


Graf. 11-9 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Saba<sup>®</sup> na opotřebení chromového povlaku strojní šicí jehly



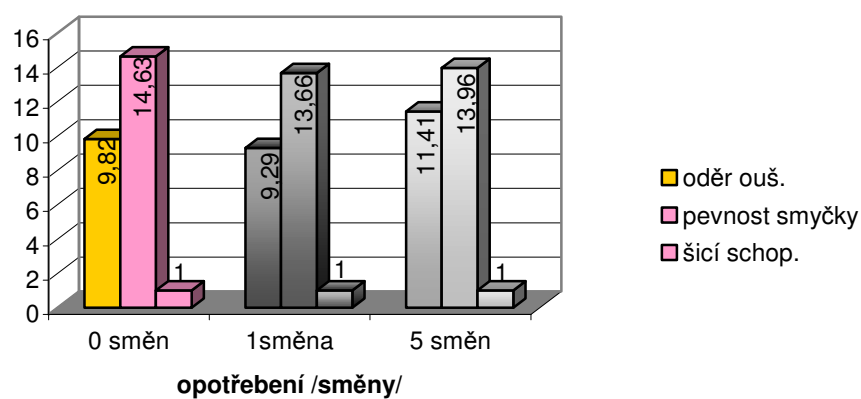
Graf. 11-10 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Saba<sup>®</sup> na opotřebení TiN povlaku strojní šicí jehly

**Teflon - Saba C**



Graf. 11-11 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Saba<sup>c</sup> na opotřebení teflonového povlaku strojní šicí jehly

**Keramika - Saba C**



Graf. 11-12 Závislost jednotlivých mechanických zkoušek šicí nitě Saba<sup>c</sup> na opotřebení keramického povlaku strojní šicí jehly